

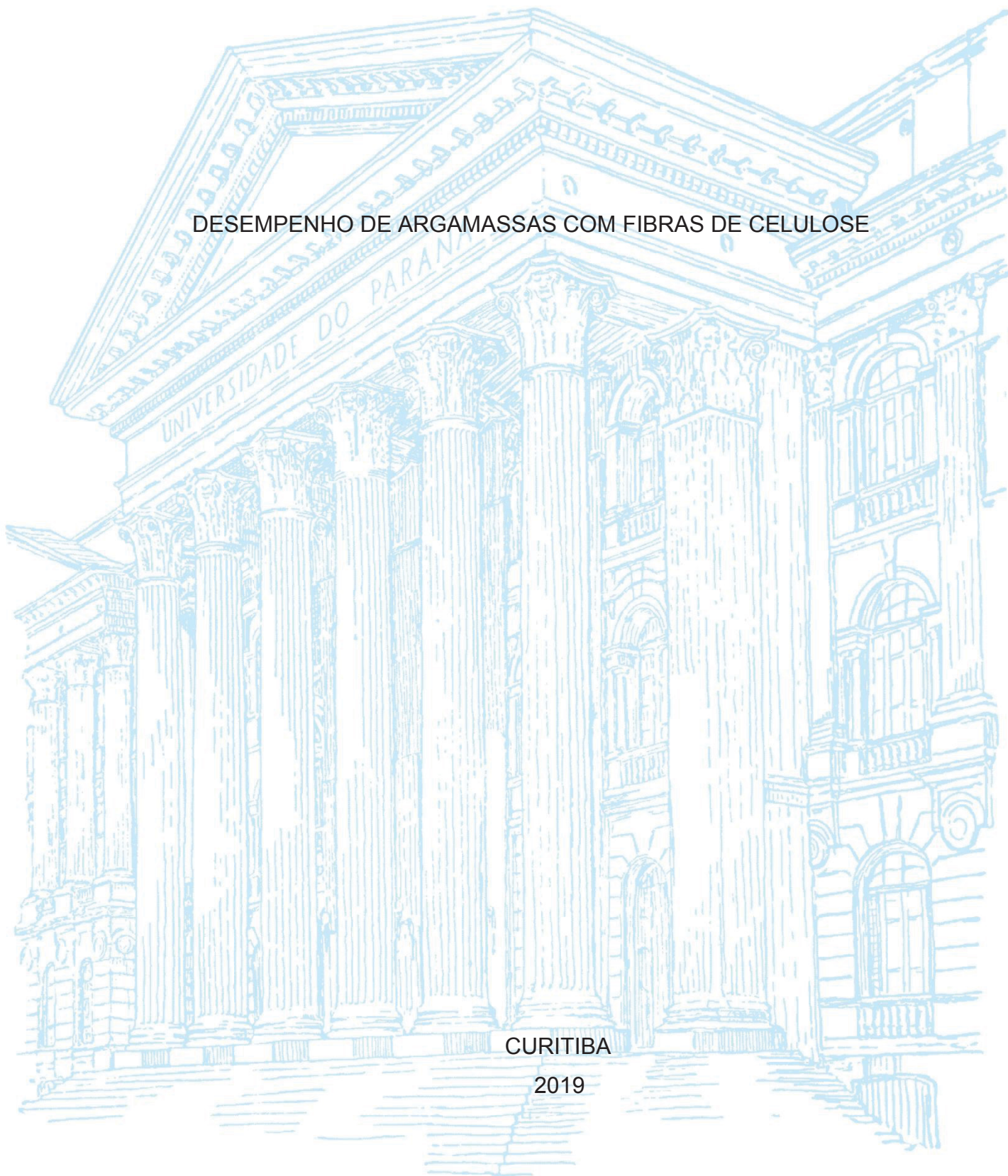
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ALINE PESCAROLO

DESEMPENHO DE ARGAMASSAS COM FIBRAS DE CELULOSE

CURITIBA

2019



ALINE PESCAROLO

DESEMPENHO DE ARGAMASSAS COM FIBRAS DE CELULOSE

Dissertação apresentada como requisito à obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil, no Programa de Pós-graduação em Engenharia de Construção Civil, Setor de Tecnologia, da Universidade Federal do Paraná.

Orientador(a): Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Marienne do Rocio de Mello Maron da Costa.

CURITIBA

2019

Catálogo na Fonte: Sistema de Bibliotecas, UFPR  
Biblioteca de Ciência e Tecnologia

P473d

Pescarolo, Aline

Desempenho de argamassas com fibras de celulose [recurso eletrônico] /  
Aline Pescarolo. – Curitiba, 2019.

Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia,  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, 2019.

Orientador: Marianne do Rocio de Mello Maron da Costa .

1. Argamassa. 2. Revestimentos. 3. Celulose. 4. Fibras de celulose. I.  
Universidade Federal do Paraná. II. Costa, Marianne do Rocio de Mello  
Maron da. III. Título.

CDD: 691.5

Bibliotecário: Elias Barbosa da Silva CRB-9/1894



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SETOR DE TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA DE  
CONSTRUÇÃO CIVIL - 40001016049P2

## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA DE CONSTRUÇÃO CIVIL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **ALINE PESCAROLO** intitulada: **Desempenho de Argamassas com Fibra de Celulose**, sob orientação da Profa. Dra. **MARIENNE DO ROCIO DE MELLO MARON DA COSTA**, que após terem inquirido a aluna e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua **APROVAÇÃO** no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 06 de Agosto de 2019.

MARIENNE DO ROCIO DE MELLO MARON DA COSTA

Presidente da Banca Examinadora (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

JOSÉ GUILHERME PRATA

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

JOSÉ MARQUES FILHO

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

CARLOS FREDERICO ALICE PARCHEN

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus pelo dom da vida, me concedendo saúde, proteção e paz de espírito para que a conclusão deste trabalho fosse possível.

A minha família que sempre esteve do meu lado me apoiando, me incentivando a buscar cada vez mais pelo conhecimento e fazendo com que o estudo sempre fizesse parte da minha vida.

À minha querida orientadora, Professora Doutora Marienne do Rocio de Mello Maron da Costa, sem ela esta etapa tão importante da minha vida não seria possível, ela que sempre acreditou em mim e na minha capacidade, me incentivou em todos os momentos desse trabalho e me acalmou nos momentos mais difíceis que atravessei para chegar até aqui, sempre com muita paciência e sabedoria, transmitindo seus conhecimentos para fazer com que essa pesquisa fosse engrandecedora, não tenho palavras para tanto agradecimento em me escolher como sua orientada.

Às minhas amigas e companheiras de pesquisa Sarah Honorato Lopes, Maria Clara Cavalini e Eliziane Jubanski por toda a troca, amizade, conhecimentos compartilhados, sem elas esse caminho trilhado com certeza teria sido muito mais árduo.

Ao Engenheiro Odair Teixeira por incentivar e contribuir ricamente com seu conhecimento para que esta pesquisa fosse possível, nos fornecendo também todo o material para o desenvolvimento do trabalho.

Aos alunos de iniciação científica Lucas e Paula que me ajudaram no desenvolvimento dos ensaios.

Aos técnicos Ricardo e Janaíra por toda ajuda e auxílio no laboratório.

A todos os professores da Universidade Federal do Paraná e do PPGECC que contribuíram com seus conhecimentos, e que fizeram parte da minha formação na graduação e pós-graduação.

E a todos que contribuíram direta e indiretamente para que a conclusão deste trabalho fosse possível.

“A persistência é o caminho do êxito”.  
(Charles Chaplin)



## RESUMO

Atualmente a indústria da construção civil vem buscando o desenvolvimento de materiais novos e alternativos que proporcionem melhoria de desempenho do produto final, aumentando a produtividade, reduzindo o custo, além do foco em sustentabilidade com o emprego de resíduos recicláveis.

As fibras de celulose podem ser produzidas a partir de diversos tipos de espécies vegetais, sejam elas plantas ou madeiras dependendo da disponibilidade de cada região, no Brasil sua produção pode ser encontrada em praticamente todas as regiões tornando essa adição nas argamassas viável. Em função da sua cristalinidade e alto grau de polimerização a celulose costuma apresentar maior estabilidade aos efeitos de degradação mecânica e química quando comparadas aos componentes não celulósicos capazes de formar fibras, que também são aplicados como adição de argamassas.

As argamassas de revestimento permitem que as edificações recebam o acabamento adequado além da proteção das estruturas aos agentes agressivos do ambiente, desta forma devem ser objeto de pesquisas que visem a melhoria do seu desempenho.

Buscando evitar as manifestações patológicas que comumente surgem nos revestimentos e por consequência podem impactar diretamente na vida útil dos mesmos, a aplicação de fibras de celulose na mistura das argamassas pode contribuir de forma positiva no desempenho dos revestimentos tanto no seu estado plástico quanto em seu estado endurecido, as características reológicas das argamassas também podem ser modificadas através da adição de fibras, fazendo com que o produto final apresente melhorias como um todo para o uso na construção civil.

Este trabalho verificará de que forma a fibra de celulose irá atuar no desempenho das argamassas, tanto no seu estado fresco como no seu estado endurecido.

Palavras-chave: 1. Argamassa de revestimento 2. Celulose 3. Adição de fibra de celulose.

## **ABSTRACT**

Currently the construction industry has been seeking the development of new and alternative materials that provide improvement of final product performance, increasing productivity, reducing cost, and focus on sustainability with the use of recyclable waste.

The cellulose fibers can be produced from several types of plant species, be they plants or wood depending on the availability of each region, in Brazil its production can be found in practically all the regions making this addition in the mortars viable. Due to its crystallinity and high degree of polymerization, cellulose usually presents greater stability to the effects of mechanical and chemical degradation when compared to non-cellulosic components capable of forming fibers, which are also applied as mortar addition.

Coating mortars allow the buildings to receive the appropriate finish in addition to protecting the structures from the aggressive agents of the environment. In this way, they must be researched to improve their performance.

In order to avoid the pathological manifestations that commonly appear in the coatings and consequently can directly impact on their useful life, the application of cellulose fibers in the mixture of mortars can contribute positively to the performance of coatings both in their plastic state and in their state. The rheological characteristics of the mortars can also be modified by the addition of fibers, so that the final product presents improvements as a whole for use in construction.

This work will verify how the cellulose fiber will act in the performance of the mortars, both in its fresh state and in its hardened state.

Keywords: 1. Coating mortar 2. Cellulose 3. Addition of cellulose fiber.



## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - ESTRUTURA QUÍMICA DA CELULOSE.....	18
FIGURA 2 – ESTRUTURA DA CELULOSE E AS INTERAÇÕES DA LIGAÇÕES INTRAMOLECULAR E INTERMOLECULAR.....	18
FIGURA 3 – ESTRUTURA DA FIBRA DE CELULOSE APRESENTANDO AS LIGAÇÕES ENTRE MONÔMEROS DE GLICOSE.....	19
FIGURA 4 – ESQUEMA DA ESTRUTURA DA FIBRA DE CELULOSE E DE UMA MACROFIBRA.....	23
FIGURA 5 – REPRESENTAÇÃO DE FIBRAS DE CELULOSE.....	24
FIGURA 6 – REPRESENTAÇÃO DE UM COMPÓSITO SEM FIBRA E COM FIBRA EM SEU COMPORTAMENTO QUANTO A FLEXÃO.....	33
FIGURA 7 – ILUSTRAÇÃO DA FIBRA EMPREGADA NA MISTURA.....	40
FIGURA 8 – FIBRA DE CELULOSE.....	40
FIGURA 9 – FLUXOGRAMA DE ENSAIOS.....	43
FIGURA 10 – MESA PARA DETERMINAÇÃO DA CONSISTÊNCIA DA ARGAMASSA.....	45
FIGURA 11 – MEDIÇÃO DA ABERTURA DA ARGAMASSA.....	46
FIGURA 12 – MOLDE PARA EXECUÇÃO DO ENSAIO SQUEEZE FLOW.....	47
FIGURA 13 – CORPO DE PROVA 101 x 10mm MOLDADO PARA REALIZAÇÃO DO ENSAIO.....	47
FIGURA 14 – CORPO DE PROVA APÓS REALIZAÇÃO DO ENSAIO.....	48
FIGURA 15– ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DE RETENÇÃO DE ÁGUA.....	49
FIGURA 16 – ENSAIO DE CALOR DE HIDRATAÇÃO.....	51
FIGURA 17 – EQUIPAMENTO UTILIZADO PARA OBTENÇÃO DE TEOR DE AR DA ARGAMASSA.....	52
FIGURA 18 – ENSAIO DE VISCOSIDADE SENDO PREPARADO.....	53
FIGURA 19 – MEDIDOR DE VISCOSIDADE.....	52
FIGURA 20 – EQUIPAMENTO DESENVOLVIDO EM LABORATÓRIO PARA MEDIÇÃO DE RETRAÇÃO POR SECAGEM.....	54
FIGURA 21 – CORPOS DE PROVA UTILIZADOS PARA OS ENSAIOS NO ESTADO ENDURECIDO.....	55
FIGURA 22 – ENSAIO DE COMPRESSÃO SENDO REALIZADO.....	56
FIGURA 23 – ENSAIO DE TRAÇÃO NA FLEXÃO SENDO REALIZADO.....	57

FIGURA 24 – CORPO DE PROVA APÓS ROMPIMENTO DO ENSAIO DE TRAÇÃO NA FLEXÃO.....	57
FIGURA 25 – ENSAIO DE ULTRASOM PARA DETERMINAÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE.....	58

## LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – RESULTADOS MESA DE CONSISTÊNCIA.....	61
GRÁFICO 2 – CORRELAÇÃO ENTRE ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA E VISCOSIDADE .....	63
GRÁFICO 3 – DENSIDADE E TEOR DE AR.....	64
GRÁFICO 4 – CURVAS DE SQUEEZE FLOW PARA VELOCIDADE 0,1mm/s FIBRA LONGA NAS CONCENTRAÇÕES 0,5%, 0,3% e 0,1%.....	66
GRÁFICO 5 – CURVAS DE SQUEEZE FLOW PARA VELOCIDADE 0,1mm/s FIBRA MÉDIA NAS CONCENTRAÇÕES 0,5%, 0,3% e 0,1%.....	67
GRÁFICO 6 – CURVAS DE SQUEEZE FLOW PARA VELOCIDADE 0,1mm/s FIBRA CURTA NAS CONCENTRAÇÕES 0,5%, 0,3% e 0,1%.....	67
GRÁFICO 7 – CURVA DE RETRAÇÃO PLÁSTICA PARA FIBRA CURTA.....	72
GRÁFICO 8 – CURVA DE RETRAÇÃO PARA FIBRA MÉDIA.....	73
GRÁFICO 9 – CURVA DE RETRAÇÃO PARA FIBRA LONGA.....	74
GRÁFICO 10 – RESULTADOS DE COMPRESSÃO E TRAÇÃO NA FLEXÃO.....	77
GRÁFICO 11 – RESULTADOS DE MÓDULO DE DEFORMAÇÃO, ABSORÇÃO POR CAPILARIDADE E TRAÇÃO NA FLEXÃO.....	79

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – FORMULAÇÃO DAS ARGAMASSAS.....	38
QUADRO 2 – CARACTERÍSTICAS DAS FIBRAS DECELULOSE.....	39
QUADRO 3 – CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO CIMENTO.....	41
QUADRO 4 – CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DO CIMENTO.....	41
QUADRO 5 – CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO CIMENTO.....	41
QUADRO 6 – UNIDADES DE ANÁLISE PARA CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS.....	43
QUADRO 7 – RESULTADOS MESA DE VISCOSIDADE.....	63
QUADRO 8 – RESULTADOS RETENÇÃO DE ÁGUA.....	65
QUADRO 9 – DADOS DE FORÇA VERSUS DESLOCAMENTO DO ENSAIO SQUEEZE FLOW.....	68
QUADRO 10 – RESULTADOS DE CALORIMETRIA E RETENÇÃO DE ÁGUA.....	69
QUADRO 11 – RESUMO DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS DE DENDISADE, AR INCORPORADO, ABSORÇÃO POR CAPILARIDADE, COMPRESSÃO E TRAÇÃO NA FLEXÃO.....	75
QUADRO 12 – RESULTADOS RESUMO.....	81

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS DA AREIA.....	41
TABELA 2 – TESTE DE VARIÂNCIA (ANOVA) MESA DE CONSISTÊNCIA.....	62
TABELA 3 – TESTE DE VARIÂNCIA (ANOVA) VISCOSIDADE.....	63
TABELA 4 – TESTE DE VARIÂNCIA (ANOVA) SQUEEZE FLOW.....	65
TABELA 5 – TESTE DE VARIÂNCIA (ANOVA) RETENÇÃO DE ÁGUA.....	69
TABELA 6 – RESUMO DOS RESULTADOS DE RETRAÇÃO PLÁSTICA.....	72
TABELA 7 – TESTE (ANOVA) DE SIGNIFICÂNCIA PARA ABSORÇÃO POR CAPILARIDADE.....	75
TABELA 8 – TESTE (ANOVA) DE SIGNIFICÂNCIA PARA COMPRESSÃO.....	77
TABELA 9 – TESTE (ANOVA) DE SIGNIFICÂNCIA PARA TRAÇÃO NA FLEXÃO..	77
TABELA 10 – TESTE (ANOVA) DE SIGNIFICÂNCIA PARA MÓDULO DE ELASTICIDADE.....	79

## **LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLA**

ABNT- Associação Brasileira de Normas

a/ms - Relação água/materiais secos

ANOVA- Análise de variância

C01 - Argamassa com adição de fibra curta de celulose na concentração 0,1%

C03 - Argamassa com adição de fibra curta de celulose na concentração 0,3%

C05 - Argamassa com adição de fibra curta de celulose na concentração 0,5%

L01 - Argamassa com adição de fibra longa de celulose na concentração 0,1%

L03 - Argamassa com adição de fibra longa de celulose na concentração 0,3%

L05 - Argamassa com adição de fibra longa de celulose na concentração 0,5%

LAME - Laboratório de Materiais e Estruturas

LATECA - Laboratório de Tecnologia de Argamassas

M01 - Argamassa com adição de fibra média de celulose na concentração 0,1%

M03 - Argamassa com adição de fibra média de celulose na concentração 0,3%

M05 - Argamassa com adição de fibra média de celulose na concentração 0,5%

MHEC - Aditivo modificador de viscosidade

NBR - Norma Brasileira

REF - Formulação referência

SANEPAR - Companhia de Saneamento do Paraná

UFPR - Universidade Federal do Paraná



## SUMÁRIO

<b>1.INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
1.1OBJETIVO.....	15
1.2JUSTIFICATIVAS .....	15
1.2.1 Justificativa Econômica e Ambiental .....	15
1.2.2 Justificativa Tecnológica.....	16
<b>2.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>17</b>
2.1 CELULOSE E SUA COMPOSIÇÃO .....	17
2.1.1 Disponibilidade. ....	20
2.1.2 Celulose na construção Civil .....	21
2.1.3 Celulose em forma de fibras.....	22
2.1.4 O uso de fibras na matriz cimentícia .....	24
2.2 ARGAMASSA COM ADIÇÃO DE FIBRA DE CELULOSE .....	25
2.2.1 Propriedades das argamassas no estado fresco. ....	26
2.2.1.1 Trabalhabilidade .....	26
2.2.1.2 Plasticidade e viscosidade .....	28
2.2.1.3 Retração Plástica .....	29
2.2.1.4 Retenção de água .....	30
2.2.1.5 Densidade de Massa e Teor de Ar Incorporado .....	30
2.2.2 Propriedades no estado endurecido.....	31
2.2.2.1 Capacidade de absorver deformações.....	31
2.2.2.2 Resistência mecânica.....	32
2.2.2.3 Permeabilidade .....	35
2.2.2.4 Durabilidade .....	35
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>38</b>
3.1.1 Fibras de Celulose .....	39
3.1.2 Cimento .....	40
3.1.3 Areia .....	41
3.1.4 Água .....	42
3.1.5 Filler calcário .....	42
3.1.6 Aditivo MHEC de baixa viscosidade .....	42
3.2.1 Procedimento de mistura.....	44

3.2.2 Ensaio realizados no estado fresco .....	44
3.2.2.1 Ensaio de Determinação da densidade de massa .....	44
3.2.2.2 Ensaio Flow Table .....	45
3.2.2.3 Ensaio Squeeze Flow .....	46
3.2.2.4 Ensaio de Determinação da retenção de água .....	48
3.2.2.5 Ensaio de calor de hidratação .....	50
3.2.2.6 Determinação do teor de ar aprisionado da argamassa .....	51
3.2.2.7 Determinação da viscosidade .....	52
3.2.2.8 Retração Plástica .....	53
3.2.3 Ensaio realizados no estado endurecido .....	55
3.2.3.1 Ensaio de Resistência à compressão .....	55
3.2.3.2 Ensaio de Resistência à Tração na flexão .....	56
3.2.3.3 Ensaio de Módulo de deformação .....	58
3.2.3.4 Ensaio de Absorção de água por capilaridade .....	59
<b>4. APRESENTAÇÃO E ANALISE DE RESULTADOS.....</b>	<b>61</b>
4.1 O IMPACTO DA ADIÇÃO DE FIBRAS NA CONSISTÊNCIA DAS ARGAMASSAS.....	61
4.2 CARACTERIZAÇÃO REOLÓGICA PELO ENSAIO “SQUEEZE FLOW” .....	65
4.3 A CAPACIDADE DE RETENÇÃO DE ÁGUA E O CALOR DE HIDRATAÇÃO ...	69
4.5 A INFLUÊNCIA DA PERMEABILIDADE NOS RESULTADOS DE RESISTÊNCIA MECÂNICA .....	74
4.6 A AÇÃO DA FIBRA NO MODULO DE DEFORMAÇÃO.....	78
4.7 ANALISE DE RESULTADOS À LUZ DOS REQUISITOS DE QUALIDADE DA NORMA NBR 13281 .....	81
<b>5.CONCLUSÕES .....</b>	<b>83</b>
5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	84
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>85</b>
<b>ANEXOS - TESTES DE TUKEY.....</b>	<b>91</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O interesse na utilização de fibras naturais de madeira e de celulose vem crescendo nos últimos anos, devido ao fato de serem materiais ambientalmente sustentáveis e por terem capacidade de renovação e biodegradabilidade.

Para que exista confiabilidade nas características tecnológicas de um novo material em desenvolvimento e indicação deste como uma possibilidade técnica, é fundamental o conhecimento de suas condições de uso em situações adversas. Por isso é importante que o desempenho funcional desses materiais seja estudado (FARIAS FILHO et al.,2011).

As argamassas de revestimento devem apresentar para seu melhor desempenho, no seu estado fresco, coesão, trabalhabilidade, poder de retenção de água e teor de ar incorporado adequados, estas características irão refletir no estado endurecido, que deve desenvolver aderência ao substrato, resistência mecânica, retração por secagem moderada e módulos de deformação menores.

Desta forma, os revestimentos aplicados nas edificações devem atender às diversas solicitações impostas pois estão dentre os elementos mais suscetíveis à ação do meio ambiente. O desempenho dos revestimentos de argamassa pode ser influenciado pelas suas características reológicas e mecânicas que devem responder da melhor forma às solicitações impostas.

Para que estas características sejam atendidas o uso de fibras de origem vegetal no cimento pode oferecer algumas vantagens, além da possibilidade de reaproveitamento de resíduos de subprodutos de atividades econômicas, como é o caso da fibras de celulose. Esta utilização pode proporcionar maior resistência ao impacto causada por maior absorção de energia, possibilidade de trabalho pós fissurado e um aumento na capacidade de isolamento termo-acústico, com baixo módulo de elasticidade e elevada resistência à tração (AGOPYAN; SAVASTANO Jr., 1997).

Os compósitos cimentícios reforçados com fibras de celulose são complexos, podem apresentar problemas de má distribuição, gerando vazios e aumentando assim a porosidade do material, desta forma, a ordem da mistura, e a padronização dos procedimentos é de extrema importância para que se obtenha o desempenho esperado (SAVASTANO et al.2000).

## 1.1 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é avaliar a influência da adição de fibras de celulose no desempenho de argamassas de revestimento considerando o tamanho e o teor de fibras adicionados na composição, utilizando para esta avaliação os ensaios de flow table, densidade, squeeze flow, viscosidade, teor de ar incorporado, retenção de água, calor de hidratação, retração plástica que avaliarão as características reológicas das argamassas no estado fresco e os ensaios de compressão, tração na flexão, módulo de elasticidade e absorção por capilaridade que avaliarão o comportamento mecânico no estado endurecido.

## 1.2 JUSTIFICATIVAS

### 1.2.1 Justificativa Econômica e Ambiental

A argamassa de revestimento tem como função proteger as edificações dos efeitos causados por intempéries. A perda de água da argamassa ainda fresca para o meio, através da evaporação, gera o fenômeno de retração plástica, reduzindo assim seu desempenho quando endurecida, o que ocasiona a necessidade de desenvolver argamassas mais resistentes e sustentáveis.

A indústria de celulose e papel no Brasil é uma das mais promissoras áreas de negócio, ocupando atualmente a quarta posição no ranking dos maiores produtores mundiais de celulose. Entretanto, durante o processamento industrial da celulose, empresas que empregam o Processo Kraft geram grandes quantidades dos resíduos conhecidos como “dregs” e “grits”, além das cinzas de caldeira. Deste modo, para atender às exigências legais e minimizar os impactos ambientais e econômicos da disposição inadequada destes resíduos, empresas do setor de celulose e papel vêm buscando o auxílio junto às universidades e aos órgãos de pesquisa, visando encontrar alternativas técnica e economicamente viáveis para o aproveitamento destes resíduos e que garantam a sustentabilidade desse sistema produtivo (BRACELPA, 2011).

Devido a isso o estudo de adições de fibras de celulose se torna importante, pois visa contribuir no desempenho de argamassas usadas na construção civil,

através de revestimentos que apresentam melhor desempenho requeiram, menos recursos investidos em manutenções, gerando um vetor de sustentabilidade.

### 1.2.2 Justificativa Tecnológica

A adição de fibras em matrizes cimentícias pode melhorar as características dos revestimentos convencionais já existentes, tornando-os desta forma mais resistentes às solicitações impostas através da melhoria do seu desempenho.

Este trabalho pode contribuir de forma tecnológica por se tratar do desenvolvimento de uma argamassa que poderá ser utilizada na construção civil, através da utilização de um revestimento novo, com características próprias, apresentando além de melhorias em seu desempenho, um viés sustentável, pelo fato de as fibras adicionadas serem ambientalmente renováveis e biodegradáveis.

## 1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 CELULOSE E SUA COMPOSIÇÃO

A celulose foi descrita pela primeira vez em 1838, pelo químico francês Anselme Payen, como sendo uma fibra sólida proveniente do tratamento químico (com ácido ou amônia) em tecidos de plantas e posterior extração com água, álcool e éter, sua fórmula química é  $(C_6H_{10}O_5)_n$ . Através do processo de hidrólise a celulose dá origem a unidades estruturais de glicose (RAVEN et al., 2001).

A celulose está relacionada à lignina e às polioses, além de ser a matéria prima básica para a produção de papel, fibras, filmes e aditivos (FENGEL e WEGENER, 1989). Na forma de madeira, algodão e outras fibras de plantas, a celulose vem sendo utilizada como fonte de energia, e utilizada nas indústrias farmacêutica e alimentícia, em materiais de construção, vestimentas, adesivos, resinas sintéticas, papéis, bioetanol, etc., (LIMA NETO; PETROVICK, 1997).

Existem três polímeros que são componentes fundamentais da madeira, que possuem elevados graus de polimerização e de pesos moleculares que são a celulose, a lignina e a hemicelulose. A celulose e a hemicelulose que em conjunto compõem o conteúdo total de polissacarídeos na madeira e são denominadas holocelulose. Os componentes de baixos pesos moleculares e presentes em menores frações designados não estruturais são as cinzas e os extrativos (ZOBEL e BUIJTENEN, 1989).

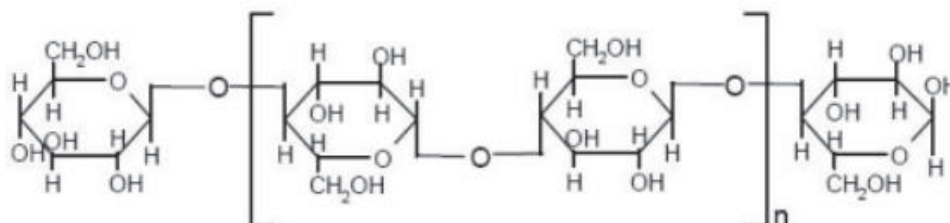
A celulose não existe como uma única cadeia na natureza. Suas moléculas longas e rígidas combinam-se formando microfibrilas, cada uma consistindo de várias cadeias de celulose. Essas cadeias da microfibrila estão orientadas paralelamente com ligações de hidrogênio intermolecular (entre unidades de glicose de moléculas de celulose adjacentes) e intramolecular (entre unidades de glicose de uma mesma molécula de celulose) (RAVEN et al., 2001). Na Figura 1, tem-se a estrutura da cadeia  $\beta(1\rightarrow4)$ -glicana denominada celulose e as ligações de hidrogênio intramolecular e intermolecular.

Composta por unidades monoméricas de  $\beta$ -Danidroglucopiranoose, que se ligam entre si por meio dos carbonos e ligações glicosídicas a celulose pode ser considerada um polissacarídeo de cadeia longa sua estrutura é formada e organizada por agregados de microfibrilas que possui regiões amorfas e cristalinas. A celulose



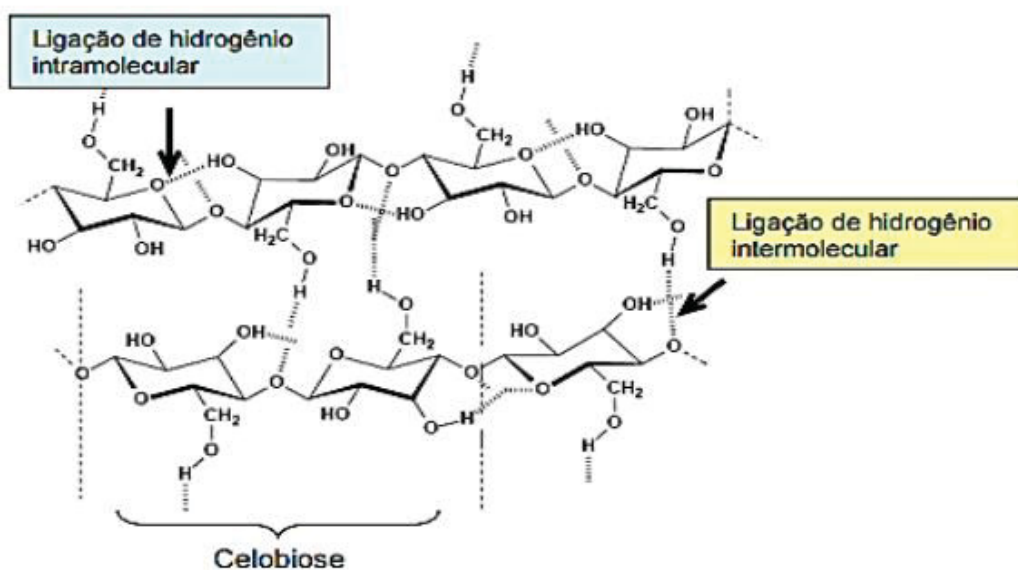
então é formada por um feixe de microfibrilas que formam uma fibrila e assim formam uma fibra de celulose (SJÖSTRÖM, 1981). A figura 2 ilustra a estrutura da celulose e suas interações intramolecular e intermolecular.

FIGURA 1 - ESTRUTURA QUÍMICA DA CELULOSE



FONTE: Hon (2000).

FIGURA 2 – ESTRUTURA DA CELULOSE E AS INTERAÇÕES DAS LIGAÇÕES INTRAMOLECULAR E INTERMOLECULAR



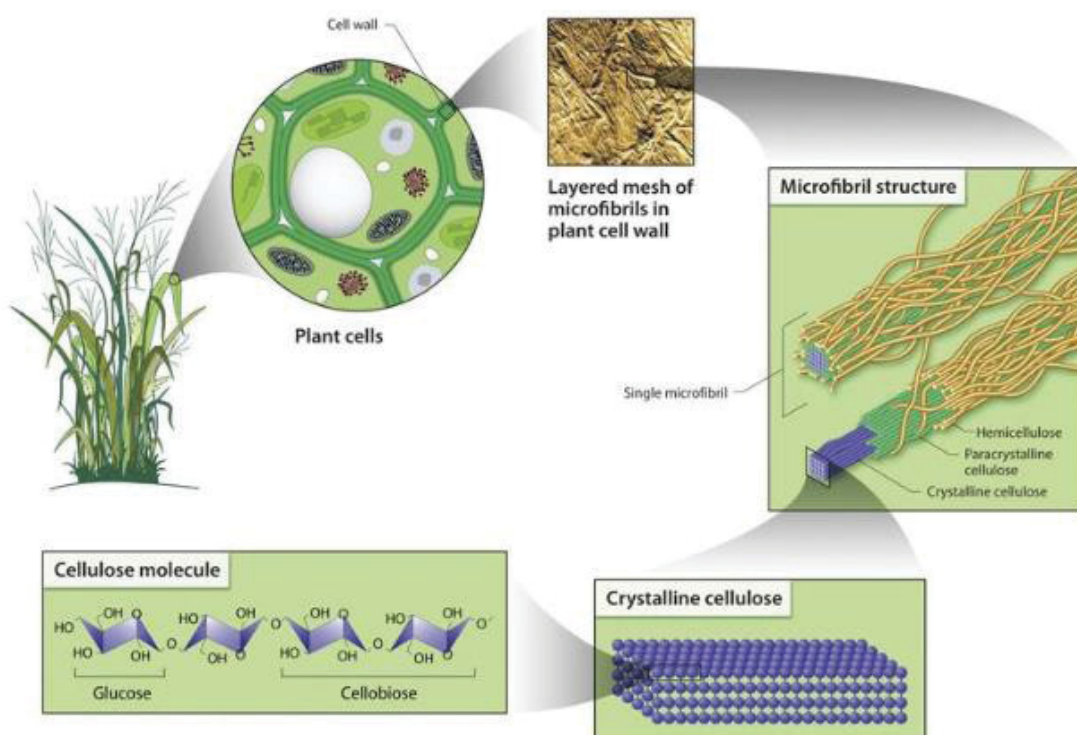
FONTE: Morais (2005).

As regiões altamente ordenadas da estrutura da celulose são regiões cristalinas, intermediadas por regiões amorfas menos ordenadas. As regiões amorfas são mais acessíveis ao ataque de reagentes, enzimas ou até mesmo à absorção de água (KADLA; GILBERT, 2000). Devido a este fato, muitas pesquisas foram feitas a respeito da utilização de amostras amorfas com objetivo de compreender o

comportamento térmico, químico e mecânico da região cristalina (CIOLACU et al., 2006; 2001; ZUGENMAIER, 2008).

As regiões cristalinas e amorfas existem na celulose em uma proporção que determinam o índice de cristalinidade. Está em conjunto com a orientação dos domínios cristalinos e amorfos nas fibras podem afetar as propriedades mecânicas das fibras de celulose (IYER et al., 1991; HU; HSIEH, 2001). Para mensurar o índice de cristalinidade existem técnicas, sendo a mais utilizada a difração de raio x, que ocorre com a incidência de um feixe de elétrons que, ao ser difratado, contém informações sobre a estrutura da amostra (SMITH, 1981). Apresenta-se na Figura 3 a estrutura da fibra de celulose e sua região cristalina.

FIGURA 3 – ESTRUTURA DA FIBRA DE CELULOSE APRESENTANDO AS LIGAÇÕES ENTRE MONÔMEROS DE GLICOSE.



FONTE: DOE (2005).

As ligações intermoleculares são responsáveis pela rigidez da molécula e as ligações intramoleculares são responsáveis pela formação da fibrila que são estruturas altamente ordenadas que se organizam e formam a fibra de celulose. As

fibras são resistentes à tração, ao alongamento na região cristalina, a região amorfa apresenta maior flexibilidade (VÁSQUEZ et al., 2007).

A celulose é considerada um polímero hidrofílico devido à presença de um elevado número de grupos hidroxila, todavia é insolúvel em água, a insolubilidade da celulose em água e solventes comuns está relacionada à organização das estruturas em relação as ligações de hidrogênio realizadas pelas hidroxilas presentes nas unidades de glicose.

O grau de polimerização é outra propriedade importante da celulose, por ser um carboidrato formado por unidades de glicose. Se chama de grau de polimerização o número de unidades na cadeia de uma molécula de celulose. Um alto grau de polimerização tende a dificultar a ação de enzimas celulolíticas porque diminui a digestibilidade da celulose oferecendo uma estrutura maior e mais resistente (ZHAO et al., 2012).

#### 2.1.1 Disponibilidade.

No que tange à disponibilidade da celulose, desde o ano de 2008, o Brasil se manteve como o quarto maior produtor de celulose do mundo, mantendo uma posição competitiva no mercado. No setor de exportação, a Europa e a China foram os maiores importadores de celulose do Brasil durante os meses de janeiro a agosto de 2012 e 2013 (BRACELPA, 2013).

De acordo com Cenibra (2010) a produção de celulose de forma crescente no Brasil faz com que sejam necessárias pesquisas relacionadas à correta disposição dos resíduos gerados, tanto sob o ponto de vista econômico quanto do ponto de vista ambiental. A produção de uma tonelada de celulose produz 268 Kg de resíduos sólidos, de forma que devido a isso há necessidade de encontrar uma destinação adequada para estes resíduos.

Em função do seu comprimento (<5mm), a celulose é utilizada principalmente no reforço de pastas com ou sem adições e seu uso pode ser combinado ou não a fibras plásticas. Com este compósito é realizada a produção de componentes esbeltos como telhas, painéis, caixas d'água e tubos. Estima-se que a produção anual é de cerca de 3 milhões de toneladas do material em todo o mundo (HEINRICKS et al, 2000).

Este valor apresenta um acréscimo de mais de 100% se comparado a dados anteriores, caso dos levantados por RONGXI (1995), que quantificou a produção, naquele ano, em 1,4 milhão de toneladas. Grande parte dessa produção se concentra nos EUA, Europa, Ásia e Oceania. A Austrália, seguida da Nova Zelândia, foi o primeiro país a produzir comercialmente fibrocimentos sem o uso de amianto (COUTTS, 1992 e RONGXI, 1995).

### 2.1.2 Celulose na construção Civil

Os impactos ambientais causados pelo setor da construção podem ser reduzidos com o emprego de novas matérias primas que além da redução do custo, influenciam na vida das populações e na sustentabilidade do planeta. Os resíduos agrícolas, urbanos e industriais, que acabam sendo destinados a aterros, estão disponíveis em grandes quantidades e são potencialmente recicláveis apresentando uma alternativa para o uso de matérias primas naturais. Deste conjunto de resíduos se destacam os oriundos da agroindústria como fibras vegetais, escórias, e derivados do aço (CALDAS E SILVA, 2002; JOHN, 2000).

Devido à grande disponibilidade de fibras vegetais no Brasil, se iniciaram estudos sobre a viabilidade de sua aplicação na construção civil. As pesquisas indicam como possível aplicação, o uso dessas fibras para reforços em matrizes cimentícias devido à eficiência já comprovada quando da adição de fibras de outras naturezas (SILVA, 2002).

As fibras de celulose se destacam por possuírem elevada resistência e durabilidade, pois são insolúveis em água e higroscópicas, mesmo molhadas ainda possuem resistência. Este fator junto com a disponibilidade da madeira faz com que a celulose apresente grandes vantagens para ser usada, na fabricação de papel e além disso, a celulose e seus derivados têm sido industrialmente bastante aplicados em variados setores, seja na forma de emulsificantes, agentes dispersantes, celulose regenerada para utilização como fibras, aditivos para argamassas, produtos químicos especiais para a construção civil, como também em alimentos e produtos farmacêuticos (ZUGENMAIER, 2008).

### 2.1.3 Celulose em forma de fibras

O uso de fibras como adições tem sido bastante difundido no campo de pesquisa mundial, inclusive no Brasil onde atualmente existem pesquisas em andamento visando o desenvolvimento de componentes como emprego de fibras residuais de papel, eucalipto que podem contribuir para a minimização da retração das matrizes (NEVES, 2000; SAVASTANO Jr., 2002).

O método de polpação mais empregado para obtenção das fibras celulósicas e que tem apresentado melhores resultados é o Kraft, também conhecido como método químico dos sulfatos. Esse método consiste no cozimento da matéria prima a altas temperaturas (170°C) em soluções alcalinas. O meio alcalino associado às altas temperaturas tem a função de decompor os elementos não celulósicos. Embora os resultados obtidos através desse processo de polpação sejam melhores, ele apresenta desvantagens como custo elevado e mais poluente em comparação com outras metodologias. (SILVA, 2002)

Assim, os processos de polpação podem também ser chamados de desfibramento, uma vez que provocam a alteração das macrofibras, removendo o material cimentante de seus componentes (lignina) e demais componentes. Ainda, esses processos podem ser complementados por peneiramento em peneira vibratória de pequena abertura a fim de separar as macrofibras ainda presentes (SAVASTANO, 2000).

As fibras de celulose normalmente se apresentam na forma de polpas ou folhas, utilizadas para diversos fins, destacando-se a produção de variados tipos de papel. A utilização de polpas celulósicas no reforço de materiais à base de matrizes cimentícias tem adquirido importância cada vez maior em todo mundo, sobretudo nos países desenvolvidos (SAVASTANO Jr., 2000).

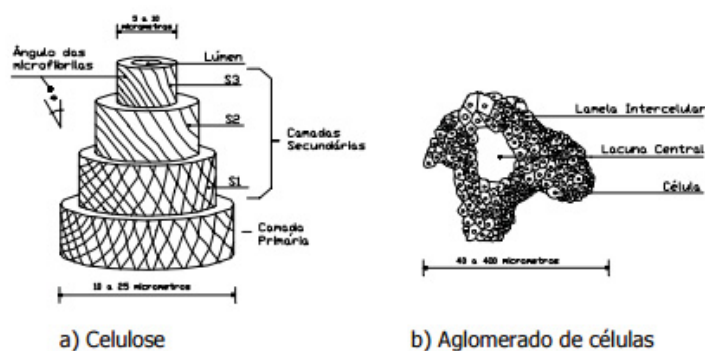
No tocante à durabilidade dos componentes da fibra, a celulose tem maior resistência à deterioração em relação aos demais elementos em função de sua alta cristalinidade. Assim, quanto mais “pura” em celulose for a fibra, maior resistência a meios alcalinos ela apresentará (SILVA, 2006).

As fibras de celulose são classificadas como orgânicas naturais e podem ser originárias de vegetais fibrosos ou de madeiras. As fibras de celulose, de acordo com Ilston, (1994 apud SILVA, 2002) são constituídas basicamente por três componentes,

sendo eles: celulose, lignina e hemicelulose, sendo todos formados por cadeias poliméricas.

Quanto à estrutura física, as fibras celulósicas são compostas por um aglomerado de células formadas por microfibrilas que se unem pelas lamelas intercelulares. A fração de celulose é corresponde a essas microfibrilas, e a fibra, ou macrofibra, o conjunto formado pela união desses filamentos de celulose com a lignina e a hemicelulose (SILVA, 2006). A figura 4 ilustra a estrutura de uma fibra e de uma microfibra de celulose.

FIGURA 4 – ESQUEMA DA ESTRUTURA DA FIBRA DE CELULOSE E DE UMA MACROFIBRA

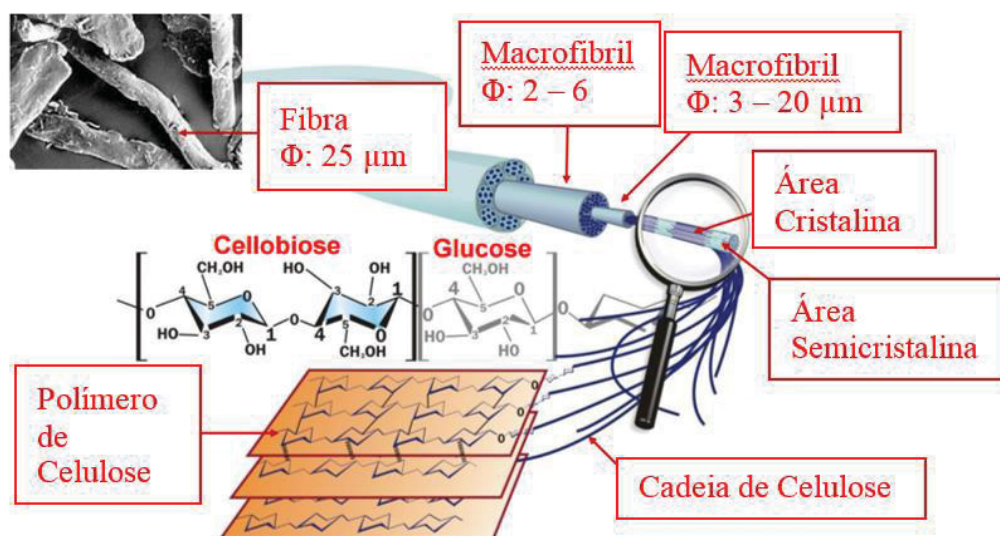


FONTE: GRAM, (1988); COUTTS, (1992).

Por seu custo reduzido, larga disponibilidade e características adequadas ao emprego como reforço, os resíduos provenientes da indústria de fibras vegetais são vistos como excelente opção para produção de fibrocimentos alternativos nos países em desenvolvimento. O uso de fibras residuais e de aglomerantes alternativos à base de resíduos surge como boa opção para redução dos custos dos materiais de construção empregados na habitação (SAVASTANO Jr., 2000). A figura 5 demonstra a estrutura da fibra da celulose.



FIGURA 5 – REPRESENTAÇÃO DE FIBRAS DE CELULOSE



FONTE: Adaptado de Rettenmaier e Söhne (2012).

#### 2.1.4 O uso de fibras na matriz cimentícia

Uma das maneiras encontradas para melhorar as características reológicas e mecânicas das argamassas é a inserção de fibras em sua composição. Ademais, as fibras contribuem com aumento da tenacidade, além de reduzir a formação de microfissuras. Segundo levantamento feito por Silva (2006), embora o uso de fibras na construção não seja uma prática moderna, apenas a partir de 1960 tiveram início os estudos sistêmicos sobre a aplicação de fibras em matrizes com cimento. Atualmente, as fibras comumente empregadas são as de carbono, aço, vidro e polímeros (nylon e polipropileno) do grupo das sintéticas, e as de fibras de coco e celulose do grupo das de origem vegetal (SILVA, 2006).

As fibras vegetais podem proporcionar à matriz cimentícia maior resistência devido a maior absorção de energia diante aos esforços dinâmicos, principalmente no estágio pós-fissurado, no qual seu comportamento é alterado. A matriz pode apresentar uma deformação plástica considerável, o que torna um material adequado para ser usado na construção civil (SOARES, 2012; SILVA, GHAVAMI e ALMEIDA, 2003; BERALDO e VIEIRA, 2003).

O fator de forma se faz importante na avaliação das fibras, pois sendo seu comprimento muito curto, o arrancamento da fibra de dentro da matriz quando solicitada se dará mais facilmente. No entanto, a fibra também não deve ser longa em demasia, pois a atuação de tensão na fibra é proporcional ao seu comprimento, fazendo com que fibras muito longas recebam tensões iguais ou superiores à sua resistência e levando-a ao rompimento (SAVASTANO, 2000).

A presença de hemicelulose, açúcares e alguns fenóis encontrados nas fibras de celulose podem acarretar em um aumento do tempo de pega do cimento, além disso, outro fator importante é a presença de substâncias de caráter ácido que são liberadas pelas fibras em solução aquosa (SAVASTANO, 2000).

Os açúcares presentes na celulose cobrem os grãos de cimento criando uma camada que impede a absorção de água, assim as partículas de cimento sob forças moleculares perdem a capacidade de coesão e endurecimento (VAICKLESIONIS; VAICKELIONIENE, 2003). Inicialmente a absorção dos açúcares ocorrem na hidratação do  $C_3A$  e pode funcionar como acelerador, porém se a capacidade de absorção do  $C_3A$  não for o suficiente para imobilizar todo o açúcar, este passa a agir como inibidor da hidratação de  $C_3S$ , desta forma se a concentração de açúcares for baixa, a cura do cimento acaba não sendo afetada (SIMATUPANG, 1990; MILLER, MOSLEMI, 1991 b; 1991 YASUDA *et al.*, 2002).

Quanto à capacidade de dispersão da fibra dentro da matriz, essa característica relaciona-se em especial com o estado fresco da argamassa. Segundo Peruzzi (2002), a inserção de qualquer tipo de fibra em argamassa convencional provocará uma redução em sua trabalhabilidade, e essa perda será proporcional à concentração volumétrica de fibras. Portanto, quantidades excessivas de fibras ou aglomerados resultantes da má dispersão serão prejudiciais às propriedades fundamentais às argamassas de revestimento.

## 2.2 ARGAMASSA COM ADIÇÃO DE FIBRA DE CELULOSE

Os revestimentos têm como função principal proteger os elementos de vedação e a estrutura contra a deterioração, devendo atender as exigências quanto à durabilidade, evitando a ação direta de agentes agressivos em seu interior. A argamassa de revestimento tem como função proporcionar um acabamento

adequado, livre de fissuras e bolhas que podem acarretar em uma degradação acelerada devido aos fatores externos (SABBATINI, 2001).

As argamassas possuem uma série de propriedades que assumem maior ou menor relevância em função da aplicação. Algumas podem ser caracterizadas como sendo determinantes no estado fresco, e outras no endurecido (SOUZA COUTINHO, 2007).

É preciso compreender as funções e propriedades das argamassas para que se obtenha um bom desempenho e uma boa aderência ao substrato. Os fatores que interferem nestas características estão relacionados aos materiais constituintes, sua proporção de uso, sua granulometria dentre outras características que serão descritas nos itens 2.2.1 e 2.2.2.

### 2.2.1 Propriedades das argamassas no estado fresco.

Para que o desempenho no estado fresco da argamassa seja verificado, algumas propriedades precisam ser avaliadas, como trabalhabilidade, plasticidade, retenção de água, retração plástica e teor de ar incorporado. Estas características irão influenciar na qualidade e desempenho final da argamassa no seu estado endurecido.

#### 2.2.1.1 Trabalhabilidade

É a propriedade que determina a facilidade com a qual as argamassas podem ser misturadas, transportadas, aplicadas, acabadas com uma condição homogênea. A argamassa é trabalhável quando permite ao operário executar um serviço de boa produtividade, garantindo que o revestimento tenha uma boa aderência e fique com um bom acabamento (CARASEK, 2007).

Dentro da trabalhabilidade existem outras propriedades, tais como consistência, plasticidade, retenção de água, coesão, exsudação, densidade de massa e adesão inicial (CARASEK, 2007).

A trabalhabilidade de uma argamassa apresenta dificuldade tanto para ser definida quanto medida, pois envolve fatores subjetivos, uma mesma argamassa pode ser mais ou menos trabalhável conforme o pedreiro que irá manuseá-la. De maneira geral se diz que uma argamassa é trabalhável quando ela é distribuída facilmente ao ser assentada, não agarra à ferramenta quando está sendo aplicada, não segrega ao

ser transportada, não endurece em contato com superfícies absorviva, permanece plástica por tempo suficiente para que a operação seja completada. Esta propriedade quando otimizada, além de tornar o trabalho mais produtivo, menos cansativo e mais econômico, tem grande influência na otimização de todas as propriedades essenciais (GASTALDINI, 2000).

A água adicionada em excesso embora melhore a trabalhabilidade da argamassa e possa ser evaporada superficialmente, ou absorvida pelo substrato devido à diferença de gradiente hidráulico, provoca um aumento na porosidade do revestimento, e consequentemente, na permeabilidade, na capilaridade, além da redução da resistência mecânica e resistência de aderência. A retenção de água é uma propriedade importante por garantir a trabalhabilidade, as reações de hidratação do cimento e o bom desempenho das argamassas no estado endurecido. Entretanto, por vezes é entendida, somente, como a capacidade da argamassa de reter água quando submetida ao contato com blocos de elevada absorção (SABATTINI, 1984, citado por GOMES, 2008).

A trabalhabilidade das argamassas pode ser alterada com a inserção de fibra na mistura, de forma que a perda da trabalhabilidade é proporcional à concentração volumétrica das fibras (PERUZZI, 2002). Como anteriormente mencionado a quantidade ou até mesmo um aglomerado de fibras que podem ser causados pela má dispersão na mistura, podem causar prejuízos à argamassa no estado fresco que pode ser revertido com a adição de plastificantes ou superplastificantes na mistura.

A adição de fibras pode reter a água da mistura causando a redução da fluidez das argamassas, devido ao seu formato e a sua alta superfície específica. A relação entre o teor máximo de fibras e a trabalhabilidade adequada do composto depende da fluidez, do volume da pasta de cimento e da razão de aspecto da fibra (l/d) (JOHNSTON, 2001).

Savastano Jr. (2000), adicionou fibras de celulose de eucalipto e de banana com teor de 4% a 16%. Os componentes foram avaliados através de ensaios de empenamento, permeabilidade, absorção de água e desempenho mecânico. O ensaio de “flow table” mediu a consistência que apresentou um aumento considerável com a incorporação das fibras, porém foi necessário um aumento na relação água cimento de 0,4 para 0,5 devido à alta absorção de água das fibras e por consequência diminuição da trabalhabilidade.

### 2.2.1.2 Plasticidade e viscosidade

A plasticidade de uma argamassa está relacionada com a capacidade de retenção de deformações a ela impostas, e é influenciada pelo teor de ar, consumo de aglomerante, pela energia e intensidade da homogeneização da mistura (RAGO & CINCOTTO, 1997). Já a viscosidade é um indicativo de coesão entre as moléculas da pasta, pode indicar a facilidade de o material escoar continuamente sob a ação de uma tensão de cisalhamento externa, quanto menor a viscosidade menor será a tensão necessária para impor uma taxa de velocidade constante (OLIVEIRA et al., 2000). Estas características estão relacionadas com o comportamento reológico da argamassa.

Alterações significativas no comportamento reológico das argamassas podem ocorrer adicionando fibras na sua composição. Estas alterações variam de acordo com o material que a constitui, o comprimento da fibra e a concentração volumétrica (SILVA, 2006).

Estudos reológicos realizados por Carvalho et.al 2013, de pastas com fibras de papel Kraft, mostraram que a interferência das fibras no fluxo das pastas tem relação com o teor das fibras e com suas concentrações em relação aos demais sólidos.

Os resultados apresentados mostram que a interferência das fibras de celulose no fluxo das pastas tem relação com o teor de fibras, mas também com o consumo de água. As argamassas de traço 1:1 (cimento e cal, em volume) são mais sensíveis à atuação das fibras. Já no traço 1:0,5 o aumento da viscosidade e tensão de escoamento só são percebidos a partir de 5% de fibras e, para as pastas de traço 1:2, a partir de 8%. O comportamento linear para tensão de escoamento foi obtido em todos os teores, exceto para os teores de 12% de fibras. Desta forma, o teor de 12% de fibras, nesta pesquisa em questão, representa o limite de concentração de fibras nas pastas, a partir do qual não há boa dispersão das fibras, tornando o fluxo bastante irregular e comprometendo seu escoamento.

Outro estudo realizado por Carvalho et.al 2013, sobre o comportamento reológico de argamassas de assentamento e revestimento de cimento, cal e areia contendo também fibras de celulose provenientes de sacaria de papel Kraf nas concentrações de 0%, 3%, 7% e 12% , mostrou que o método de squeeze flow é sensível para avaliar o comportamento reológico dado pela presença das fibras de

papel kraft, concluíram que embora haja um aumento na consistência das argamassas consoante a incorporação de fibras de papel kraft a trabalhabilidade não é prejudicada e a densidade de massa é reduzida em função do teor de fibras.

Desta forma o uso de fibras como adição nas argamassas pode trazer melhorias significativas no comportamento reológico das argamassas no que tange a melhora da fluidez e viscosidade, desde que a quantidade adicionada seja adequada e que seja padronizado um procedimento de mistura adequado para se evitar problemas de dispersão das fibras na mistura impactando sua trabalhabilidade.

### 2.2.1.3 Retração Plástica

A Retração plástica é o primeiro fenômeno observável a ocorrer em se tratando de retração em argamassas, pois se inicia tão logo a argamassa seja lançada sobre o substrato pela movimentação da pasta e da água de amassamento para os poros da base (SELMO, 1996). Porém pode ocorrer também nos revestimentos a retração por secagem que é também uma das principais propriedades que devem ser controladas no estado endurecido para que sejam evitadas microfissuração intensa a médio e a longo prazo (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

A retração plástica se dá quando a argamassa ainda se encontra no seu estado fresco e é uma ação física causada por forças de tensão superficial, um dos fatores mais importantes para que ocorra a retração plástica segundo Neville (1997). Tem influência da umidade relativa do ar, quanto maior a umidade relativa menor será a retração.

Os aspectos que abrangem a ocorrência da retração plástica envolvem a perda de massa, capilaridade, temperatura interna e consolidação do material que irão influenciar na cinética deste fenômeno (TURCY 2004).

As argamassas podem apresentar microfissuras mesmo antes do seu endurecimento, em virtude de tensões tanto internas quanto externas. Essas microfissuras tendem a se propagar dentro da argamassa e se coalescerem formando uma macrofissura, sendo que sua propagação é tanto maior quanto mais porosa for a argamassa, ou seja, a difusão das fissuras ocorre mais facilmente quanto maior a quantidade de vazios presentes na argamassa, pois estes representam caminhos livres de tensões, logo são mais facilmente percorridos.



Desta forma, a inserção de fibras na mistura funciona como barreira à propagação de fissuras já existentes, pois para as fissuras ultrapassarem as fibras, deverá ocorrer seu arrancamento, ou o desvio contornando a fibra ou ainda a ruptura da fibra, no entanto essas três opções demandam elevado gasto de energia, portanto a inserção das fibras nas argamassas tem como principal razão combater a fissuração (SILVA, 2006).

Segundo Bentur e Mindess (1990), fibras de baixo módulo de deformação, em baixos teores (menos que 0,3% em volume) ajudam a reduzir a quantidade de fissuras proveniente da retração plástica, que é um problema comum em argamassas de revestimento. Segundo Tolêdo Filho e Sanjuán (1999), a adição de fibras é eficaz na redução de retração plástica de argamassas, na redução do tempo de aparecimento da primeira fissura e no controle de fissuração.

#### 2.2.1.4 Retenção de água

A retenção de água é a capacidade que a argamassa tem de reter a água de amassamento, combatendo a sucção da base e também a evaporação. Esta característica torna as reações de endurecimento gradativas, criando um ambiente adequado para a hidratação do cimento, aumentando assim a resistência, pois a rápida perda de água compromete a aderência, a resistência mecânica, a capacidade de absorver deformações, a durabilidade e a estanqueidade (MACIEL; BARROS; SABBATINI, 1998).

Segundo Carasek (2007), além de afetar os procedimentos de acabamento e retração plástica no estado fresco, a retenção de água tem importância, também no estado endurecido das argamassas, porque para que ocorra as reações químicas de endurecimento dos aglomerantes da forma correta, é necessária uma adequada retenção de água.

O aumento da capacidade de retenção de água é obtido pela utilização de aditivos cujas características impedem a perda de água para o componente, como é o caso dos derivados de celulose e aditivos que impedem a percolação de água capilar, como os aditivos incorporadores de ar (IPT, 1992).

#### 2.2.1.5 Densidade de massa e teor de ar incorporado

A relação entre a massa da argamassa e o seu volume pode ser definida como massa específica, a qual pode ser dividida em absoluta e aparente. Na absoluta, não são considerados os vazios no volume, e na aparente são considerados estes vazios. A massa específica serve para calcular o traço em volume nas argamassas viradas em obra (MACIEL et. al., 1998).

A quantidade de ar existente em certo volume de argamassa pode ser definida como teor de ar incorporado, que é inversamente proporcional à massa específica da mesma. Tanto o teor de ar quanto a massa específica interferem na trabalhabilidade (CARASEK, 2007).

A adição de fibras celulósicas nas argamassas faz com que sua massa específica apresente um valor inferior em relação àquela sem adição, o que pode ser justificado pela reduzida massa específica aparente da fibra, além disso ela também age como incorporador de ar à mistura fresca, consumindo mais água no processo de fabricação da argamassa, essa água evapora gerando vazios no material (SAVASTANO, 2000) e (CARVALHO, 2014).

Segundo Savastano (2000), a inserção de fibras celulósicas é capaz de incorporar ar na mistura de compostos cimentícios tornando-os mais leves se comparados com compósitos sem fibras, em função da sua reduzida massa específica.

## 2.2.2 Propriedades no estado endurecido

Para Maciel; Barros; Sabbatini (1998), As propriedades da argamassa no estado endurecido equivalem às propriedades do próprio revestimento.

### 2.2.2.1 Capacidade de absorver deformações

O módulo de deformação é uma das características mais importantes em se tratando de argamassas de revestimento, pois estabelece a capacidade da argamassa deformar-se sem apresentar ruptura ou fissura quando sujeito as solicitações diversas e de retornar a dimensão original, quando cessam as solicitações. Quanto maior o módulo de elasticidade, menor é a capacidade de deformação da argamassa.

Esta propriedade faz com que o revestimento absorva pequenas deformações sem fissurar ou comprometer suas propriedades, como aderência, estanqueidade e durabilidade. A capacidade de absorver deformações tem ligação com o módulo de elasticidade e a resistência mecânica da argamassa, influenciando a fissuração e a aderência (CARASEK, 2007).

Agopyan; Savastano Jr. (1997), apontaram que as fibras vegetais em geral possuem baixo módulo de elasticidade, a adição dessas fibras nas matrizes cimentícias proporciona maior resistência ao impacto causada por maior absorção de energia e possibilidade de atuarem no estágio pós-fissurado.

Conforme Zhu et al. (1994), os valores de módulo de elasticidade podem apresentar reduções consideráveis a partir da inserção de fibras no composto em função de dois principais motivos: aumento da porosidade decorrente do ar incorporado na mistura através da adição de fibras e o fato das fibras apresentarem módulo de elasticidade inferior ao da matriz sem reforço.

Estudos realizados por Savastano Jr. (2000), mostraram que o aumento de absorção de energia para compósitos cimentícios com adição de fibras foi de até 20 vezes maior se comparados a compósitos com matrizes sem fibras de celulose.

A adição de 12% de fibra de celulose no compósito mostrou um módulo de elasticidade significativamente inferior ao do compósito com apenas 2% de fibras.

Desta forma as fibras podem auxiliar no desempenho das argamassas de revestimento no que tange a absorção de deformações.

#### 2.2.2.2 Resistência mecânica

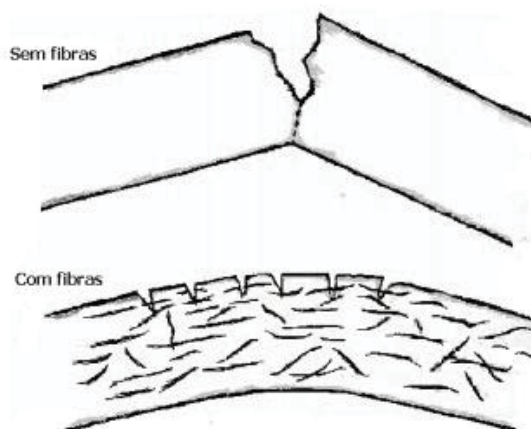
Pode-se chamar de resistência mecânica a propriedade que a argamassa tem de resistir esforços de tração, compressão ou cisalhamento, geradas a partir de condições ambientais ou cargas solicitantes, após seu endurecimento. A argamassa sempre estará sujeita aos esforços mecânicos, para as argamassas de revestimento a maior solicitação é relativa a esforços de tração e cisalhamento. Já os esforços de compressão, estão mais presentes em argamassas de assentamento, pela forma à qual essa é solicitada no sistema de vedação (CINCOTTO E NAKAKURA, 2004).

Algumas solicitações que exigem resistências mecânicas adequadas para evitar que o desgaste, os impactos e a movimentação higroscópica, não venham a desagregar os revestimentos (CARASEK, 2007).

Determinadas argamassas e concretos convencionais reforçados com fibras não proporcionam aumento substancial na resistência mecânica em comparação às correspondentes misturas sem fibras, contudo estudos realizados por Agopyan e Savastano Jr. (1997), mostraram considerável melhora na energia específica, criando possibilidade de trabalho no estágio pós-fissurado conferindo isolamento termo acústico aceitável. Com isso o advento do reforço com fibras aumenta a versatilidade da argamassa que propicia um método efetivo para superar as características de fragilidade apresentadas por elas (METHA e MONTEIRO, 1994).

Desta forma, as fibras adicionadas em argamassas também atuam no estado de pós fissuração, pelo fato da argamassa caracterizar uma ruptura frágil, tendo apenas a fase plástica em seu comportamento quando solicitada. A adição de fibras pode fornecer à argamassa uma fase elástica depois de atingida a resistência, quando a carga atuante de tração supera a que a matriz suporta por transferência de tensões, nesse caso a fibra passa a resistir a esse esforço dando característica de ductilidade à argamassa (SAVASTANO, 2000).

FIGURA 6 – REPRESENTAÇÃO DE UM COMPÓSITO SEM FIBRA E COM FIBRA EM SEU COMPORTAMENTO QUANTO A FLEXÃO



FONTE: METHA e MONTEIRO (1994).

Savastano (2000) realizou ensaios de resistência a tração na flexão, as matrizes sem reforço apresentam resultados superiores às reforçadas, 37,3 MPa para 20 MPa em média, de forma que este fato pode ser explicado pelo aumento do fator água cimento. Com isso o autor observa a necessidade de adaptação do processo

produtivo dos compósitos que permita um adensamento mais eficiente e que possibilite melhor desempenho no que diz respeito às resistências obtidas, com atenção também para o custo exigido.

Silva (2002), analisou compósitos reforçados com fibras de celulose e avaliou que a adição de 12% de fibras aumentou a carga máxima de ruptura dos compósitos para valores superiores ao da ruptura da matriz sem fibra. O teor de 2% de adição não foi suficiente para absorver os esforços transferidos pela matriz que se rompe provocando rápida queda da capacidade de carga. As deformações na ruptura dos compósitos com 12% de fibras foram até 8 vezes maiores que as matrizes com teor de 2%, e as argamassas com teores de 12% foram capazes de conferir um comportamento dúctil ao compósito.

Para os ensaios de resistência à flexão os compósitos com 2% de fibras apresentaram resultados em torno de 6 MPa, ao elevar o teor de fibras para 12% a resistência a flexão também aumentou entre 40% e 150% no módulo de ruptura.

A adição de fibras de papelão nas proporções de 0,5%, 1%, 1,5% e 2% em argamassas de revestimento de cimento, cal e areia foi feita por Silva et.al, para análise das propriedades mecânicas, e para os resultados de resistência à compressão axial o traço com adição de 0,5% apresentou uma tendência ao aumento dessa resistência, já para as concentrações de 1%, 1,5% e 2% houve tendência a diminuição da resistência em todas as idades. Com isso concluiu que existe uma proporção ótima de adição de fibra entre os percentuais de 0% e 1%.

Gomes (2014) realizou um estudo para avaliar a influência da adição de resíduos de polpa de celulose na argamassa de revestimento que demonstrando que houve aumento no valor da resistência à compressão nos traços de argamassa com percentual de 1% de polpa de celulose em relação à massa de cimento, já nos ensaios de tração na flexão e nos demais ensaios no estado endurecido os resultados não apresentaram melhora significativa se comparado com a traço de referência sem adição de fibras.

Estudos, com adição de 10% de polpa celulósica em relação à massa de cimento, realizados por Savastano (2000), demonstraram que além de contribuir para o aumento da ductilidade e tração na flexão também apresentou boa aderência à matriz.

Através das pesquisas realizadas percebe-se que a adição de fibra de celulose nas argamassas pode melhorar seu desempenho no estado endurecido. A

concentração da adição se faz importante pois pode-se chegar em um limite em que a adição passa a não surtir o efeito desejado.

#### 2.2.2.3 Permeabilidade

Esta característica reflete na capacidade que o material apresenta em facilitar ou não penetração de gases e líquidos nocivos ao seu interior. A permeabilidade está diretamente ligada à porosidade do material (BUCHER, 1983). No caso de revestimentos de fachada, esta propriedade é muito importante quando o edifício está em uma região com muita incidência de chuva, pois ajuda na sua proteção contra a água, e, por consequência, contra a umidade que pode infiltrar na parede, causando outras manifestações patológicas (CARASEK, 2007).

A porosidade de uma argamassa de revestimento está ligada à sua composição, a forma como foi aplicada, ao processo de cura adotado, bem como à textura da superfície sobre a qual foi aplicada. A porosidade interfere diretamente na durabilidade do revestimento, devido ao potencial de propiciar acúmulo de umidade e até mesmo o crescimento de fungos em seu interior. Os sais dissolvidos cristalizam-se causando expansão do revestimento e sua consequente fissuração prejudicando assim o desempenho do revestimento (QUARCIONI et al., 2001).

A resistência mecânica está ligada à razão entre volume de sólidos e o volume de vazios, pois quanto menor for esta razão menor será a resistência (QUARCIONI et al., 2009).

#### 2.2.2.4 Durabilidade

Durabilidade é a capacidade de a argamassa manter sua estabilidade química e física ao longo do tempo em condições normais de exposição a um determinado ambiente, sem que as funções para as quais foi designada seja cumprida, a durabilidade está condicionada por características intrínsecas, pelas condições de agressividade do meio ao qual está exposta e pelo tipo de solicitações de natureza física e mecânica a que está submetida (FARIAS FILHO, et al., 2011).

A durabilidade tem relação com o desempenho do revestimento com o passar do tempo, com o seu uso e contra ações do meio externo. A fissuração, a espessura

excessiva, a falta de manutenção, a entrada de microrganismos e outros agentes de deterioração podem afetar a durabilidade (MACIEL et. al., 1998).

A capacidade da argamassa atingir uma completa, resistente e durável aderência com os componentes, assim como a trabalhabilidade, retenção de água, resistência mecânica e durabilidade são características essenciais para sua adequada funcionalidade, ressaltando que essas não atuam de forma independente. A ausência ou o mal desempenho de qualquer uma delas terá efeito nas demais propriedades (HELENE; MARTINELLI, 1991).

Os revestimentos têm como função principal proteger os elementos de vedação e da estrutura contra a deterioração, devendo atender as exigências quanto à durabilidade, evitando a ação direta de agentes agressivos em seu interior, a argamassa de revestimento tem como função proporcionar um acabamento adequado, livre de fissuras e bolhas que podem acarretar em uma degradação acelerada devido aos fatores externos (SABBATINI, 2001).

De acordo com Oliveira (2006) apud Lima (2010), a avaliação da durabilidade dos revestimentos é um aspecto importante para o desenvolvimento de um novo material, visto a complexidade dos mecanismos de degradação. A prolongação da vida útil dos materiais da construção civil e os elevados custos das obras civis se tornam fundamental a estimativa do comportamento do novo produto dentro dos princípios de avaliação de desempenho.

Para que exista confiabilidade nas características tecnológicas de um novo material em desenvolvimento e indicação deste como uma possibilidade técnica é fundamental o conhecimento de suas condições de uso em situações adversas, por isso a durabilidade é um dos fatores mais importantes para o conhecimento dos novos materiais em desenvolvimento (FARIAS FILHO, et al., 2011).

Carvalho (2015), apresentou uma pesquisa com argamassas com adições de fibras de papes Kraft, obtidas a partir de sacos de cimento e cal, observando se efeitos como a degradação das fibras ou desprendimento das fibras da matriz pudessem prejudicar o seu desempenho quanto à sua resistência mecânica e durabilidade, quando submetidas a ciclos de envelhecimento por variações de temperatura e umidade. Essas argamassas com adição de fibras apresentaram maior tenacidade, apresentando maior capacidade de absorver energia da carga aplicada, característica que não foi observada no traço de referência sem adição de fibra que em função da

falta dessa propriedade apresentou ruptura frágil após o aparecimento da primeira fissura.

Em 2013, Carvalho realizou outro estudo objetivando avaliar a durabilidade das argamassas com adição de fibras de papel Kraft, cujo resultado indicou que além de não apresentar efeitos negativos quanto ao seu comportamento, essas argamassas apresentaram melhora na resistência à tração na flexão, após os ciclos de envelhecimento.

Carvalho et. al 2013, avaliando a durabilidade de argamassas com fibra de papel Kraft, avaliaram argamassas com traço 1:2:8 (cimento, cal, areia, em volume) para a argamassa de referência e o mesmo traço com 10% de fibras em relação à massa de aglomerante em substituição à areia para a argamassa com fibras que foram submetidos aos ensaios de resistência à tração na flexão e resistência à compressão para avaliação das suas características mecânicas. A partir dos resultados obtidos pode-se concluir que as argamassas com 10% de fibras de papel kraft provenientes de embalagens de cimento, para o período estudado, não apresentaram prejuízos à durabilidade dos compósitos.



### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

As argamassas foram dosadas no laboratório LATECA – Laboratório de Tecnologia de Argamassas da Universidade Federal do Paraná.

A dosagem das argamassas foi determinada com base em formulações adotadas na indústria da construção civil, aplicadas no mercado de revestimentos industrializados.

Uma formulação padrão que foi usada como referência (REF) e a partir desse traço foram adicionadas fibras de celulose nos comprimentos curto (C), médio (M) e longo (L). As adições de fibras foram feitas nas proporções de 0,1, 0,3 e 0,5% em relação à massa total dos materiais secos da formulação da argamassa.

A relação água/materiais secos foi mantida constante para todas as formulações. De forma a compensar o teor de água retido pelas fibras de celulose na mistura foi adicionada água na mesma quantidade de fibras, em gramas, para garantir o teor efetivo de água em todas as formulações, independente do teor e comprimento das fibras.

As argamassas desenvolvidas em laboratório foram formuladas de acordo com o apresentado no quadro 1. A relação apresentada no quadro se dá de acordo com as proporções adotadas para um total de 100% em massa seca sendo, areia 75,3%, cimento 14%, filler calcareo 10%, modificador de viscosidade 0,20%, fibra de celulose 0,5% , 0,3% e 0,1% .

QUADRO 1 – FORMULAÇÃO DAS ARGAMASSAS.

Formulação	Cimento (g)	Areia (g)	Filer calcário (g)	Aditivo (g)	a/ms	m Fibra
REF	1	5,379	0,714	0,000357	0,189	-
L01					0,189	0,007
L03					0,189	0,212
L05					0,189	0,354
M01					0,189	0,007
M03					0,189	0,212
M05					0,189	0,354
C01					0,189	0,007
C03					0,189	0,212
C05					0,189	0,354

FONTE: A autora (2019).

Legenda:

a/ms: Relação água/ materiais secos

m Fibra: Massa de fibra

### 3.1 MATERIAIS EMPREGADOS

#### 3.1.1 Fibras de Celulose

As fibras de celulose utilizadas são compostas basicamente de alpha celulose, beta celulose, lignina e extratos etéreos, são oriundas de árvores não coníferas ou folhosas do qual a mais conhecida deste grupo é o eucalipto, são obtidas através de aparas de papel, processadas industrialmente e tratadas mecânica e quimicamente, passando também por processos de lavagem, moagem, clarificação.

As fibras de celulose utilizadas são de comprimentos longo, médio e curto, suas principais características mostradas no quadro 2.

QUADRO 2 – CARACTERÍSTICAS DAS FIBRAS DE CELULOSE.

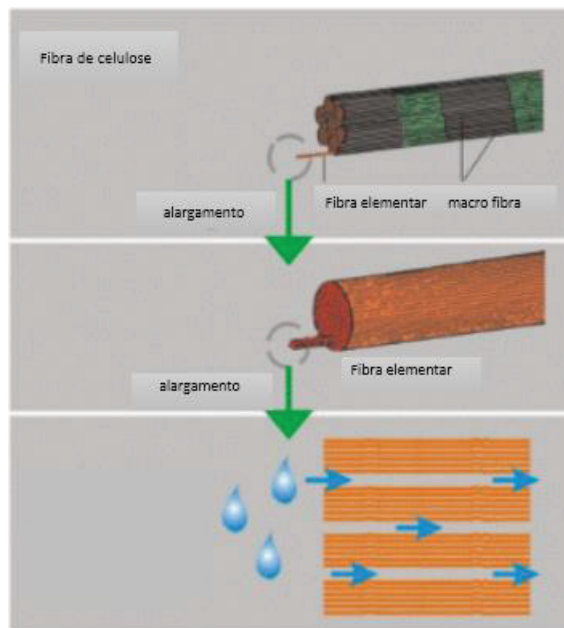
Fibras	Comprimento (µm)	Diâmetro (µm)	Teor de celulose* (%)
Longa	500	35	90
Média	400	45	80
Curta	45	25	99,5

FONTE: A autora (2019).

\*Dados informados pelo fabricante.

As fibras apresentam capacidade de armazenar água em seu interior através dos seus micro tubos conforme ilustrado na Figura 7, seu aspecto pode ser observado na Figura 8.

FIGURA 7 – ILUSTRAÇÃO DA FIBRA EMPREGADA NA MISTURA



FONTE: Jrettenmaier & Sohne. Adaptado Autora (2019).

FIGURA 8 – FIBRA DE CELULOSE



FONTE: A autora (2019).

### 3.1.2 Cimento

O cimento utilizado para a formulação das argamassas foi o CPIII 40- RS, com adição de escória de alto forno e resistente ao sulfato, este cimento foi adotado pois era o cimento disponível no momento da pesquisa. As caracterizações físicas, químicas e mecânicas foram obtidas junto ao fabricante e encontram-se nos quadros 3, 4 e 5.

QUADRO 3 – CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO CIMENTO

ENSAIOS FÍSICOS DE CIMENTO PORTLAND DE ALTO-FORNO RESISTENTE A SULFATOS				NBR 5737/1991	
Determinações	Unidade	Referência Normativa	Limites de Especificação	Desvio Padrão	Resultados
Finura na Peneira 75 $\mu\text{m}$ (nº #200)	(%)	NBR-11579	$\leq 8,0 \%$	0,17	0,74
Massa Específica	(g/cm <sup>3</sup> )	NBR NM-23		0,02	2,97
Área Específica	(cm <sup>2</sup> /g)	NBR NM-76		133,6	3.877
Água de Consistência Normal	(%)	NBR NM-43		0,56	31,2
Tempo de Início de Pega	(min)	NBR NM-65	$\geq 01:00 \text{ h}$	10	313
Tempo de Fim de Pega	(min)		$\leq 12:00 \text{ h}$	11	369
Expansibilidade à Quente (mm)	(mm)	NBR NM-3435	$\leq 5,0 \text{ mm}$	0,00	0,0

FONTE: Fabricante (2018).

QUADRO 4 – CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DO CIMENTO

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO					
Determinações	Unidade	Referência Normativa	Limites de Especificação	Desvio Padrão	Resultados
Resistência 3 dias (MPa)	MPa	NBR-7215	$\geq 12$	0,46	15,4
Resistência 7 dias (MPa)			$\geq 23$	0,63	26,2
Resistência 28 dias (MPa)			$\geq 40$	1,32	44,3

FONTE: Fabricante (2018).

QUADRO 5 – CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO CIMENTO

ENSAIOS FÍSICOS DE CIMENTO PORTLAND DE ALTO-FORNO RESISTENTE A SULFATOS				NBR 5737/1991	
Determinações	Unidade	Referência Normativa	Limites de Especificação	Desvio Padrão	Resultados
Óxido de Magnésio (MgO)	(%)	NBR NM-11	---	0,55	5,89
Resíduo Insolúvel (R.I)	(%)	NBR NM-15	$\leq 1,5$	0,04	0,54
Perda ao Fogo (P.F)	(%)	NBR NM-18	$\leq 4,5$	0,04	2,45
Anidrido Sulfúrico (SO <sub>3</sub> )	(%)	NBR NM-16	$\leq 4,0$	0,10	1,59
Anidrido Carbônico (CO <sub>2</sub> )	(%)	NBR NM-20	$\leq 3,0$	0,05	0,54
Óxido de Silício (SiO <sub>2</sub> )	(%)	NBR 14656/01		0,62	29,00
Óxido de Alumínio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	(%)			0,47	9,49
Óxido de Ferro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	(%)			0,11	1,58
Óxido de Cálcio (CaO)	(%)			0,55	46,19

FONTE: Fabricante (2018).

### 3.1.3 Areia

A areia utilizada para a formulação das argamassas é de granulometria média de cava. De acordo com a NBR 7211:82 agregado miúdo é uma areia de origem natural ou resultante do britamento de rochas estáveis, cujas características granulométricas encontram-se na tabela 1.

TABELA 1 – CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS DA AREIA

Peneiras (mm)	Massa Retida (g)	Massa Retida (%)	Massa Retida Acumulada (%)
19	0	0	0
9,5	0	0	0
4,8	0	0	0
2,4	0	0	0
1,2	0,01	0,002	0,002
0,6	5,45	1,101	1,103
0,3	39,66	8,015	9,118
0,15	412,24	83,308	92,426
0,1	37,48	7,574	100

FONTE: A autora (2019).

### 3.1.4 Água

A água utilizada foi potável proveniente da rede de abastecimento da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR).

### 3.1.5 Filler calcário

O Filler calcário utilizado foi o filler dolomita para que a quantidade de cimento fosse reduzida, além disso, por possuir uma granulometria muito fina ele irá atuar na trabalhabilidade da mistura.

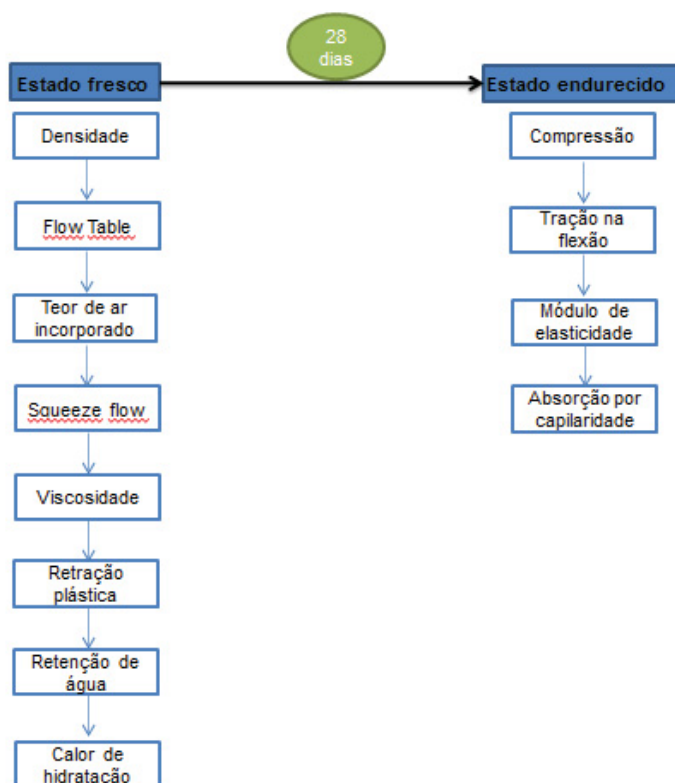
### 3.1.6 Aditivo modificador viscosidade MHEC

Para tornar a mistura mais homogênea e diminuir o consumo de água, o aditivo retentor de água MHEC de baixa viscosidade foi adicionado na mistura para também evitar a exsudação da argamassa. O aditivo adotado foi o MHS 10012 P6 com nível de viscosidade de 1000 mPa.s.

## 3.2 MÉTODOS

Os ensaios realizados estão apresentados na Figura 9.

FIGURA 9 – FLUXOGRAMA DE ENSAIOS



FONTE: A autora (2019).

No quadro 6 está apresentada a quantidade de corpos de prova moldados para cada ensaio.

QUADRO 6 – UNIDADES DE ANÁLISE PARA CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS

Estado fresco								Estado endurecido			
Traço	Flow table	Densidade	Teor de ar	Viscosidade	Retenção de água	Calor de hidratação	Retração plástica	Compressão	Tração na flexão	Módulo de elasticidade	Absorção
REF	3	3	1	10	3	1	1	12	6	6	6
L01	3	3	1	10	3	1	1	12	6	6	6
L03	3	3	1	10	3	1	1	12	6	6	6
L05	3	3	1	10	3	1	1	12	6	6	6
M01	3	3	1	10	3	1	1	12	6	6	6
M03	3	3	1	10	3	1	1	12	6	6	6
M05	3	3	1	10	3	1	1	12	6	6	6
C01	3	3	1	10	3	1	1	12	6	6	6
C03	3	3	1	10	3	1	1	12	6	6	6
C05	3	3	1	10	3	1	1	12	6	6	6
<b>Total</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>10</b>	<b>100</b>	<b>30</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>120</b>	<b>60</b>	<b>60</b>	<b>60</b>

FONTE: A Autora (2019).

### 3.2.1 Procedimento de mistura

O procedimento de mistura das argamassas teve como base a ABNT NBR 1654:2016. A padronização no procedimento de mistura foi extremamente importante para que a fibra seja dispersa de forma homogênea evitando qualquer tipo de aglomeração entre elas, atrapalhando desta forma os resultados obtidos. O procedimento foi cuidadosamente seguido conforme os passos abaixo, o tempo total de mistura na argamassadeira foi de 2 minutos.

- Mistura manual dos materiais secos dentro de sacos plásticos até a homogeneização, mistura dos materiais secos na argamassadeira com capacidade de 5 litros de eixo vertical e em velocidade lenta por 1 minuto.
- Após os materiais secos estarem homogeneizados por completo foi feita a adição da água, no caso das argamassas com fibra houve um acréscimo de água na mistura na mesma quantidade de fibra, com peso em massa para que desta forma a fibra não roube água do sistema, depois de adicionada água a mistura continuou sendo homogeneizada por mais 30 segundos.
- Na etapa final o equipamento é desligado para que seja feita a raspagem da cuba com o auxílio de uma espátula e por fim mais 30 segundos de mistura na velocidade lenta.

### 3.2.2 Ensaio realizados no estado fresco

#### 3.2.2.1 Ensaio de Determinação da densidade de massa

Este ensaio foi realizado para determinação da densidade de massa das argamassas com base na NBR 13278:2005.

As argamassas foram dosadas conforme procedimento citado anteriormente e após seu preparo foram inseridas em um recipiente cilíndrico de aproximadamente 400 cm<sup>3</sup> através de três camadas de alturas aproximadamente iguais, em cada camada deve ser aplicado 20 golpes com espátula por toda a superfície da argamassa.

O recipiente deve ser rasado e a massa do molde com a argamassa deve ser pesado em balança com resolução de 0,1g. A densidade de massa da argamassa no estado fresco foi calculada através da equação

$$d = \frac{m_c - m_v}{v_r} \times 1000$$

Onde:

d: densidade de massa da argamassa no estado fresco ( $\text{kg}/\text{m}_3$ );

mc: massa do recipiente cilíndrico contendo a argamassa de ensaio (g);

mv : massa do recipiente cilíndrico vazio (g);

vr: volume do recipiente cilíndrico ( $\text{cm}^3$ )

### 3.2.2.2 Ensaio Flow Table

A quantidade de água definida para os traços de argamassa se deu através do ensaio do Flow Table, para que a consistência e trabalhabilidade fossem adequadas.

O Ensaio de Flow table foi realizado de acordo com as especificações da NBR 13276:2002. Nas figuras 10 e 11 estão demonstradas a mesa de consistência onde o ensaio foi realizado e a medição do espalhamento da argamassa respectivamente.

FIGURA 10 – MESA PARA DETERMINAÇÃO DA CONSISTÊNCIA DA ARGAMASSA



FONTE: A autora (2019).



A norma determina que se deva preencher o molde cônico centralizado sobre a mesa em três camadas sucessivas, com alturas aproximadamente iguais, e aplicar em cada uma delas, respectivamente, 15, 10 e 5 golpes com o soquete padrão, rasando com régua metálica o excedente na borda do molde antes de removê-lo com um movimento vertical. A manivela da mesa para índice de consistência deve ser acionada, de modo a que a mesa suba e caia 30 vezes em 30 s e de maneira uniforme, imediatamente após a última queda da mesa, medir com a régua o espalhamento do molde tronco-cônico original de argamassa. Estas medidas devem ser realizadas em três diâmetros tomados em pares de pontos uniformemente distribuídos ao longo do perímetro e registrar as três medidas, o índice de consistência da argamassa corresponde à média das três medidas de diâmetro, expressa em milímetros e arredondada ao número inteiro mais próximo.

FIGURA 11 – MEDIÇÃO DA ABERTURA DA ARGAMASSA



FONTE: A autora (2019).

#### 3.2.2.3 Ensaio Squeeze Flow

Este ensaio foi realizado para avaliação do comportamento reológico das argamassas, tendo como base a NBR 15839:2010.

O molde para confecção do corpo de prova deve ter 101 mm de diâmetro interno e 10mm de altura e deve ser posicionado no centro da placa inferior, concêntrico com punção, podendo ser utilizado um gabarito para garantir o posicionamento do molde.

O ensaio foi executado na velocidade de deslocamento 0,1mm/s, que corresponde à velocidade lenta. Antes dos procedimentos do ensaio serem iniciados, as placas superior e inferior na máquina devem ser rigorosamente paralelas entre si, as argamassas devem ser preparadas conforme o procedimento de mistura descritos anteriormente.

A densidade aparente e o teor de ar incorporado devem ser determinados conforme a NBR 13278:2005 antes do início do ensaio. As moldagens dos corpos de prova devem ser feitas momentos antes de efetuar o ensaio de compressão.

O final do ensaio ocorre quando o deslocamento da punção atingir 9mm ou a carga máxima de 1kN, os resultados devem ser expressos através de gráfico de carga (N) versus deslocamento (mm). As figuras 12, 13 e 14 mostram o molde e os corpos de prova antes de após o ensaio respectivamente.

FIGURA 12 – MOLDE PARA EXECUÇÃO DO ENSAIO SQUEEZE FLOW



FONTE: A autora (2019).

FIGURA 13 – CORPO DE PROVA 101 x 10mm MOLDADO PARA REALIZAÇÃO DO ENSAIO DO SEQUEEZE FLOW



FONTE: A autora (2019)

.FIGURA 14 – CORPO DE PROVA APÓS REALIZAÇÃO DO ENSAIO



FONTE: A autora (2019).

### 3.2.2.4 Ensaio de Determinação da Retenção de Água

No ensaio de retenção de água foi verificada a capacidade da argamassa no estado fresco manter sua consistência ou trabalhabilidade quando sujeita a solicitações que provocam perda de água por evaporação, sucção do substrato ou pela hidratação do cimento, será realizado pela norma NBR 13277:2005.

A argamassa foi moldada conforme procedimento de mistura, e foi colocada em um molde cilíndrico com dimensões de 100mm de diâmetro e 25mm de altura através de 10 incrementos aproximadamente iguais até formar um excesso que deve ser rasado com espátula até que a superfície fique lisa. Este molde deve ser pesado na balança com precisão de 0,1g a fim de que se registre sua massa, que após pesada é colocada sobre a superfície da argamassa duas telas de gaze, 12 filtros de papel com diâmetro de 110mm que devem ser pesados anteriormente secos e uma placa rígida de 2kg, neste momento aciona-se o cronometro por 2 minutos. Após 2 min retira-se o peso, remove-se o conjunto de papel filtro que é pesado na balança. Desta forma é possível verificar a retenção de água através da equação:

$$Ra = \left[ 1 - \frac{(Mf - Mse)}{AF \times (Mma - Mm)} \right] \times 100$$

Onde Ra:

Mf - massa do conjunto de discos molhados de papel-filtro, em g;

Mse - massa do conjunto de discos secos, em g Mma = massa do molde com argamassa, em g;

AF- fator água/argamassa fresca;

M - massa de argamassa industrializada ou soma das massas dos componentes anidros no caso de argamassa de obra, em g;

ma - massa total de água acrescentada à mistura em g;

Mm - massa do molde vazio em g.

O resultado deve ser apresentado em %, arredondando-o ao número inteiro mais próximo.

A figura 15 mostra o momento de realização do ensaio de retenção de água com o aparelho utilizado para realização do mesmo.

FIGURA 15– ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DE RETENÇÃO DE ÁGUA



FONTE: A autora (2019).

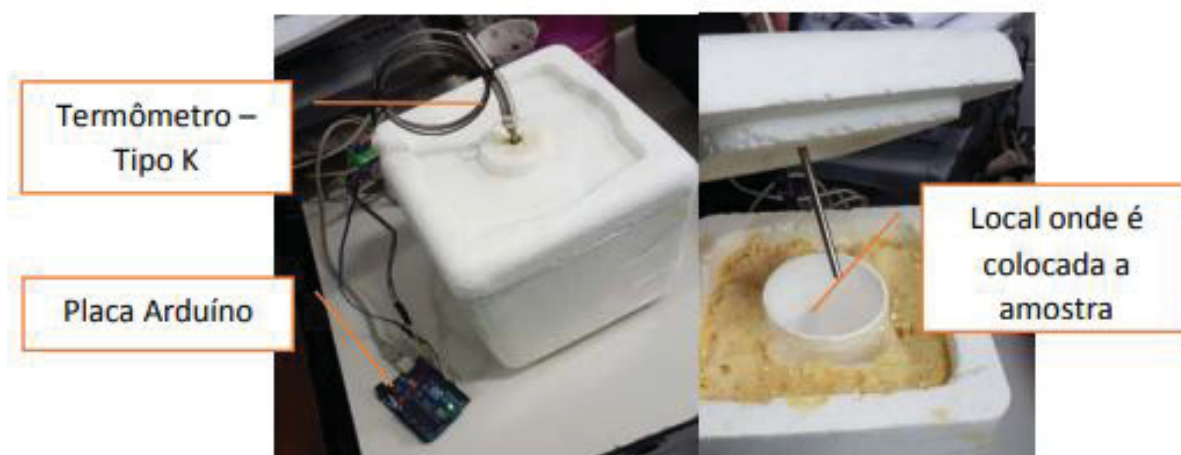
### 3.2.2.5 Ensaio de calor de hidratação

O ensaio de calor de hidratação foi executado através de um calorímetro desenvolvido no laboratório de tecnologia de argamassas – LATECA do Departamento de Construção Civil da Universidade Federal do Paraná. Este calorímetro consiste em uma caixa de isopor preenchida com espuma epóxi, deixando espaço para o copo, também de isopor, que será acoplado ao dispositivo contendo a argamassa a ser ensaiada. A caixa é tampada com intuito de vedar e impedir a troca de calor com o meio externo (sistema adiabático). Usou-se na confecção do calorímetro materiais com baixa condutividade térmica para maior confiabilidade dos dados obtidos. Este calorímetro foi desenvolvido com base no trabalho de Pinto, (2014).

Após efetuada a mistura conforme item 3.2.1, a argamassa foi moldada em um pequeno copo de isopor, de 120 ml, em três parcelas de alturas aproximadamente iguais. Cada camada recebeu aplicação de golpes de um soquete, sendo que a primeira recebeu 15, a segunda 10 e a terceira 5 golpes. Em seguida o copo foi posicionado dentro do calorímetro, desenvolvido para a pesquisa, e deixado durante 24 horas para a aquisição de dados de variações de temperatura.

Para controlar a temperatura da argamassa, o dispositivo foi acoplado a uma placa de arduíno e a um aquisitor de dados conectado a um computador. Os valores foram medidos por um termopar tipo K, ampliado por uma sonda, traduzidos e registrados pelo computador. O termopar mede a temperatura através da diferença de potencial entre dois ambientes. Por isso, é necessário o arduíno e o aquisitor de dados, para que essa diferença de potencial seja traduzida para um valor de temperatura. Os dados são registrados a cada 2 segundos, o que permitiu a realização de um perfil de todas as temperaturas apresentadas pela argamassa. Na Figura 16 apresenta-se uma foto do equipamento do ensaio.

FIGURA 16 – ENSAIO DE CALOR DE HIDRATAÇÃO



FONTE: A autora (2019).

### 3.2.2.6 Determinação do teor de ar aprisionado da argamassa

Este ensaio foi determinado pela NBR ABNT NM 47:2002 que descreve que o teor de ar aprisionado, através de um recipiente de medida com tampa cujo princípio operacional deste medidor é igualar as pressões de um volume de ar conhecido a uma pressão conhecida em uma câmara estanque, com um volume de ar desconhecido na amostra de argamassa, o mostrador do manômetro deve estar calibrado em porcentagem de ar para a pressão final observada, são utilizadas pressões de trabalho compreendidas entre 50 e 200 kPa.

O adensamento da amostra dentro do recipiente cilíndrico do ensaio foi feito de forma manual com uma haste. As amostras devem ser colocadas no recipiente em três camadas de altura não superior a 10cm, e com a haste serão aplicados 14 golpes verticais, tomando cuidado para que na primeira camada não seja golpeado o fundo e nas seguintes não atravesse no máximo 25mm de espessura da camada anterior.

Os resultados são expressos no manômetro e devem ser apresentados em porcentagem com uma casa decimal. Na figura 17 está demonstrado o equipamento utilizado para o ensaio de teor de ar.

FIGURA 17 – EQUIPAMENTO UTILIZADO PARA OBTENÇÃO DE TEOR DE AR DA ARGAMASSA



FONTE: A autora (2019).

### 3.2.2.7 Determinação da viscosidade

O ensaio de viscosidade dinâmica foi realizado no Viscosímetro de Brookfield DV2, com spindle tipo T e velocidade de 0,2 RPM.

A viscosidade é dimensionada através da dificuldade que o spindle, que está imerso na argamassa, apresenta em girar conforme as rotações por minuto impostas pela programação do equipamento. O viscosímetro utilizado apresentou limitações para o traço de argamassa em questão, pois dependendo da viscosidade da pasta a capacidade máxima de rotação do equipamento pode não ser suficiente para vencer a programação completa do ensaio, desta forma foi necessário adicionar mais 2% de água sobre a água de amassamento para que os resultados ficassem mais estáveis.

Os resultados são apresentados em centipoise (cP). As figuras 18 e 19 mostram a preparação do ensaio sendo realizada e a medição feita no leitor do equipamento.



FIGURA 18 – ENSAIO DE VISCOSIDADE SENDO PREPARADO.



FONTE: A autora (2019).

FIGURA 19 – MEDIDOR DE VISCOSIDADE.



FONTE: A autora (2019)

### 3.2.2.8 Retração Plástica

O ensaio de retração plástica foi desenvolvido no Laboratório de Tecnologia de Argamassas – LATECA do Departamento de Construção Civil da Universidade Federal do Paraná, que consiste em um cubo de 1.000cm<sup>3</sup> onde a argamassa é

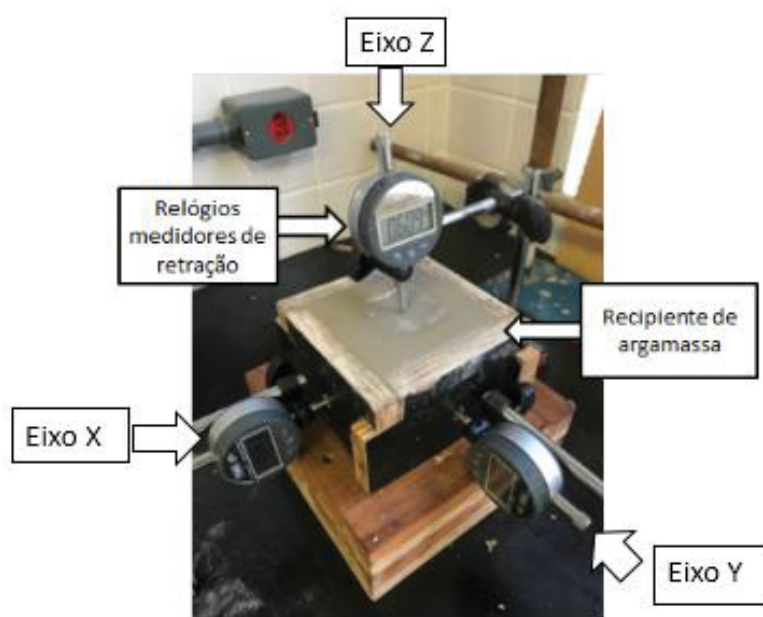


depositada, nesse cubo são acoplados medidores que realizam o monitoramento da retração das argamassas nos eixos x, y e z.

As medidas foram tiradas de 5 em 5 minutos até os 45 primeiros minutos, sendo que depois da próxima meia hora de ensaio é medida de 10 em 10 minutos, passando para medidas de meia em meia hora até a finalização do ensaio que dura 8 horas em sua totalidade.

Os resultados foram apresentados a partir da diferença de retração ocorrida no eixo z, em função deste eixo ter apresentado resultados mais significativos se comparados com os eixos x e y. A figura 20 mostra o ensaio de retração plástica sendo realizado.

FIGURA 20 – EQUIPAMENTO DESENVOLVIDO EM LABORATÓRIO PARA MEDIÇÃO DE RETRAÇÃO POR SECAGEM.



FONTE: A autora (2019).

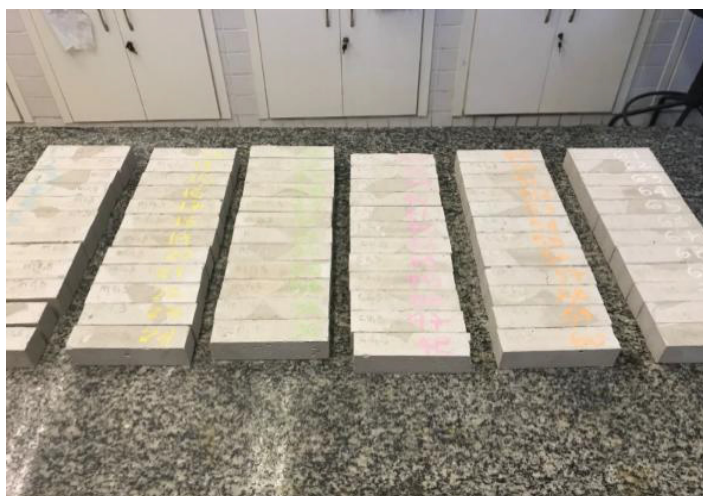
### 3.2.3 Ensaios realizados no estado endurecido

#### 3.2.3.1 Ensaio de Resistência à compressão

A realização deste ensaio seguiu a NBR 13279:2005, e tem como objetivo avaliar o comportamento mecânico das argamassas em relação à resistência à compressão.

Para este ensaio foram desenvolvidos 6 corpos prismáticos para cada traço, os corpos de prova de tem dimensões 4cm x 4cm x 16cm. Os moldes devem ser feitos com argamassa recém-preparada, após o preparo da argamassa com o molde fixo à mesa de adensamento, introduz-se diretamente em cada compartimento do molde uma porção de argamassa e com o auxílio do lado maior do nivelador de camadas, realizar-se o espalhamento da argamassa em cada compartimento formando uma camada uniforme, e em seguida aplica-se 30 quedas através da mesa de adensamento. Após o procedimento introduz-se a segunda camada de argamassa e proceder com o espalhamento uniforme e aplica-se novamente 30 quedas na mesa de adensamento. Os corpos de prova devem ser rasados com régua metálica e devem permanecer de 24h à 48h nos moldes para serem desmoldados e permanecem em temperatura de aproximadamente 23°C e umidade relativa do ar entre 60% e 65%. Na figura 21 estão demonstrados os corpos de prova que serão submetidos aos ensaios de compressão e tração na flexão.

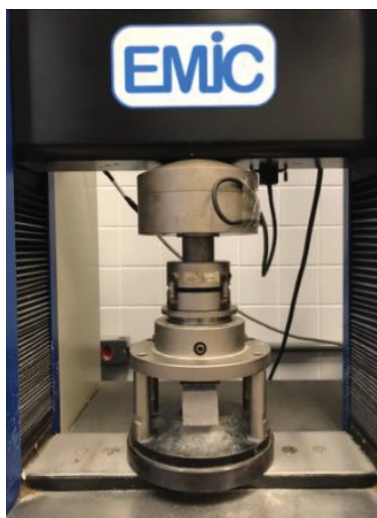
FIGURA 21 – CORPOS DE PROVA UTILIZADOS PARA OS ENSAIOS NO ESTADO ENDURECIDO



FONTE: A autora (2019).

As rupturas foram realizadas nos corpos de prova na idade de 28 dias no equipamento EMIC DL-10000, disponível no Laboratório de Tecnologia de Argamassas da UFPR. Para este ensaio a célula de carga é capaz de aplicar um carregamento uniforme e sem choque de 500 N/s. A figura 22 mostra o equipamento utilizado para realização do ensaio de compressão.

FIGURA 22 – ENSAIO DE COMPRESSÃO SENDO REALIZADO

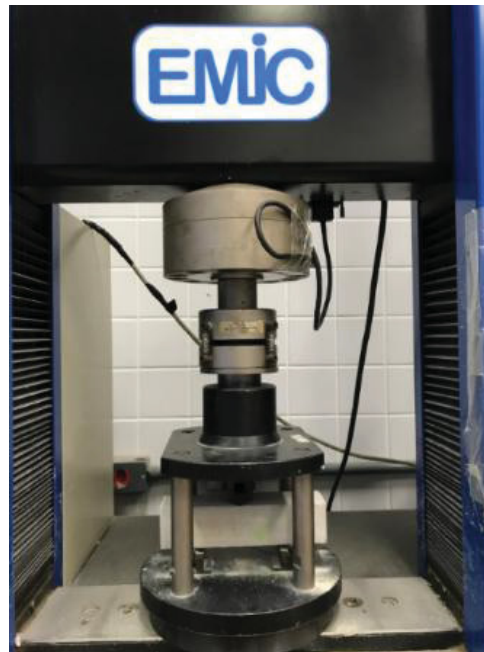


FONTE: A autora (2019).

### 3.2.3.2 Ensaio de Resistência à Tração na flexão

A análise do comportamento mecânico das argamassas em relação a resistência a tração na flexão assim como o ensaio de compressão tem como base a NBR 13279:2005, para este ensaio foram também moldados 6 corpos de provas prismáticos nas mesmas condições descritas no ensaio de compressão, a ruptura foi realizada aos 28 dias no mesmo equipamento EMIC DL-10000, disponível no Laboratório de Tecnologia de Argamassas da UFPR, alterando o incremento de carregamento para 50 N/s para o ensaio de tração. As figuras 23 e 24 mostram o ensaio de tração na flexão sendo realizado.

FIGURA 23 – ENSAIO DE TRAÇÃO NA FLEXÃO SENDO REALIZADO



FONTE: A autora (2019).

FIGURA 24 – CORPO DE PROVA APÓS ROMPIMENTO DO ENSAIO DE TRAÇÃO NA FLEXÃO



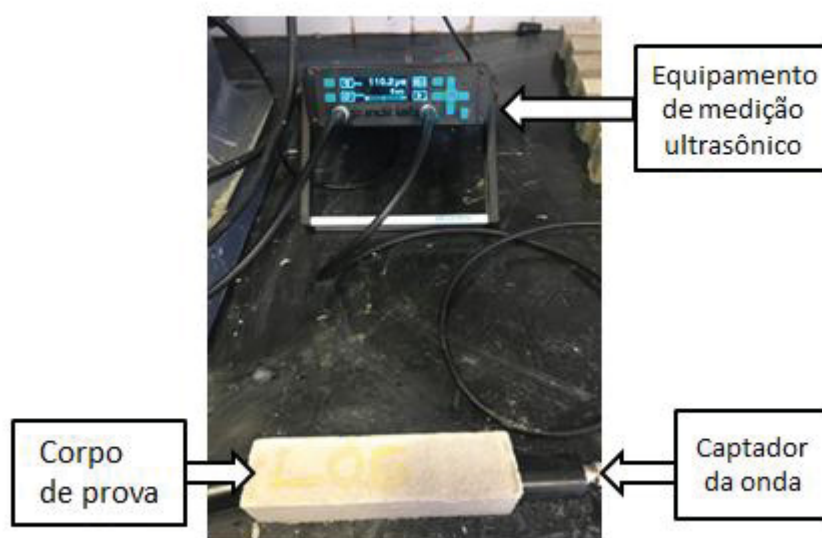
FONTE: A autora (2019).

### 3.2.3.3 Ensaio de Módulo de deformação

O ensaio do módulo de deformação foi executado nos corpos de prova de argamassas através da velocidade de onda de ultrassom que ultrapassa o corpo de prova no seu sentido longitudinal, em conformidade com a ABNT NBR 6118:2003. O módulo de elasticidade a ser utilizado nas análises elásticas é especialmente para determinação de esforços solicitantes e verificação de estados limites de serviço.

As argamassas e corpos de provas foram desenvolvidos com o mesmo procedimento adotado nos ensaios anteriores de compressão e tração na flexão, as velocidades de onda foram obtidas através de medição com equipamento modelo Proceq Pundit Lab+, calibrado para que uma onda de frequência de 250 kHz que atravessa o corpo de prova prismático de 40 x 40 x 160 milímetros no sentido longitudinal, sendo captada por outro transdutor similar ao emissor, conforme figura 25.

FIGURA 25 – ENSAIO DE ULTRASOM PARA DETERMINAÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE



FONTE: A autora (2019).

O módulo de elasticidade pode ser estimado utilizando a equação a seguir:

$$E_d = \rho \cdot V^2 \frac{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}{(1 - \nu)}$$

Onde:

$E_d$  = módulo de elasticidade dinâmico [MPa];

$\rho$  = densidade do corpo de prova [kg/m<sup>3</sup>];

$V$  = velocidade da onda ultrassônica [km/s];

$\nu$  = coeficiente de Poisson.

### 3.2.3.4 Ensaio de Absorção de água por capilaridade

O ensaio de absorção de água por capilaridade foi realizado de acordo com a NBR 9779:2012 que estabelece o método para determinação de absorção de água através da ascensão capilar de argamassas e concretos endurecidos.

Foram moldados 6 corpos de prova para análise de composição da argamassa e esta amostra deve ser constituída por no mínimo 195 cm<sup>3</sup>.

A massa dos corpos de prova deve ser determinada antes de serem colocadas na estufa a temperatura de 105°C até atingir uma constância na massa, considera-se constante a massa quando a diferença entre duas pesagens consecutivas do mesmo corpo de prova entre períodos de 2h de permanência na estufa não exceder 0,5% do menor valor obtido. Após a retirada da estufa o corpo de prova deve ser resfriado à temperatura de 23°C em dessecador e determinar sua massa seca.

A próxima etapa do ensaio se deu pela imersão parcial dos corpos de prova, que devem ser apoiados sobre suportes, preenchendo com água o recipiente de ensaio de modo que o nível de água permaneça constante a 5mm acima de sua face inferior, evitando a molhagem de outras superfícies, durante o ensaio determinar a massa saturada dos corpos de prova com 3h, 6h, 24h, 48h e 72h contadas a partir da colocação destes em contato com a água.

A absorção de água por capilaridade é calculada de acordo com a seguinte equação:

$$C = \frac{m_{sat} - m_s}{S}$$

Onde;

C - Absorção de água por capilaridade, expressa em g/cm<sup>2</sup>;

Msat. - Massa saturada do corpo de prova que permanece com uma das faces em contato com a água durante um período de tempo especificado, expressa em gramas (g);

Ms - Massa do corpo de prova seco, assim que este atingir a temperatura de (23+- 20) °C, expressa em gramas (g);

S - Área de seção transversal, expressa em centímetros (cm<sup>2</sup>).

## 4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados e analisados os resultados obtidos no programa experimental .

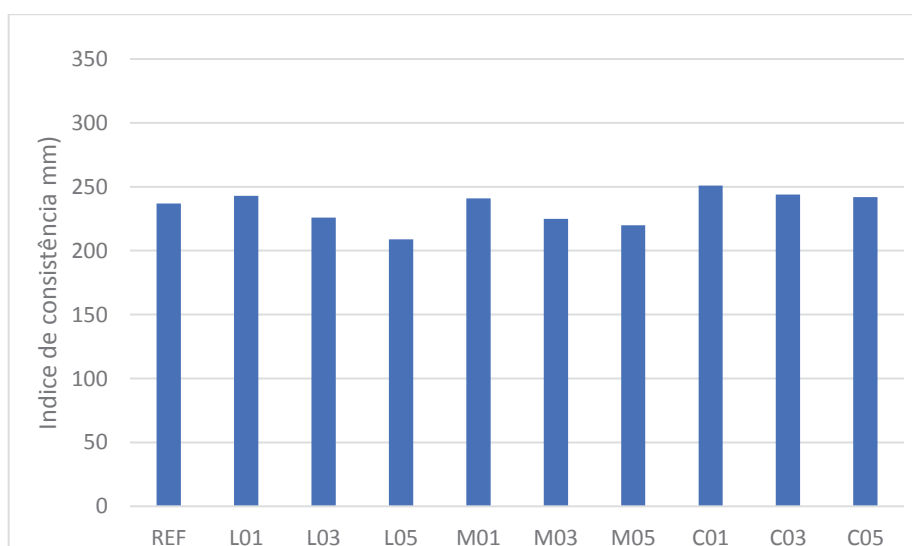
O tratamento dos dados e as análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software GraphPad Prism que auxiliou no cálculo dos desvios padrão e testes de variância ANOVA e Tukey.

### 4.1 O IMPACTO DA ADIÇÃO DE FIBRAS NA CONSISTÊNCIA DAS ARGAMASSAS

A Determinação do índice de consistência medida através do ensaio do Flow Table é um dos parâmetros em que a trabalhabilidade das argamassas é avaliada.

Pode-se observar através do ensaio da mesa de consistência cujos resultados são mostrados no gráfico 1, que à medida em que se aumenta o teor de fibras na mistura, a trabalhabilidade e consistência da argamassa são modificadas. Observa-se também que a fibra longa apresentou maior impacto nos resultados de trabalhabilidade que as demais, desde o momento da mistura até o momento do ensaio a argamassa com fibra longa se mostrou menos fluida, desta forma o diâmetro de espalhamento dela foi menor que as demais formulações que continham fibra média e curta.

GRÁFICO 1 – RESULTADOS MESA DE CONSISTÊNCIA



FONTE: A autora (2019)



O impacto da adição das fibras na mistura pode ser comprovado através do teste de variância (ANOVA), com nível de significância de 95%, mostrados na tabela 2. A influência é significativa se o parâmetro do processo estudado influencia na variável de resposta, no caso a consistência das argamassas.

TABELA 2 – TESTE DE VARIÂNCIA (ANOVA) MESA DE CONSISTÊNCIA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>	<i>Comparação</i>
(%) Entre grupos	4510,935	9	501,215	276,6087	5,51E-19	2,393	<b>significativo</b>
Dentro dos grupos	36,24	20	1,812				
Total	4547,175	29					

FONTE: A autora (2019).

O teste anova mostrado na tabela 2 indica que a variância é significativa entre os grupos em função do F ser maior que o Fcrítico, sendo assim de forma geral, houve redução no espalhamento das argamassas à medida que se aumentou o teor de fibras na mistura. Através do teste Tukey, que nos dá resultado zero para efeito não significativo e um para efeito significativo, foi possível verificar se o comprimento das fibras também se mostra significativo nos resultados. No caso da mesa de consistência a diferença entre os comprimentos de fibra não variou de forma significativa.

A redução do espalhamento pode estar associada ao fato das fibras gerarem maior coesão na mistura, ou seja, uma maior concentração volumétrica de fibra na mistura pode gerar um maior entrelaçamento como já havia observado Peruzzi (2002). Desta forma a inserção de fibras na mistura provocou a redução no espalhamento das argamassas.

Provavelmente o fato de as fibras apresentarem maior superfície específica que os demais componentes da mistura, e armazenarem água em seu interior pelos seus micro tubos, elas podem vir a absorver água do sistema retendo água em seu interior, este fator também pode influenciar nesses resultados, fazendo com que a fluidez da mistura acabe diminuindo se comparada com uma argamassa sem adição. Os resultados obtidos no ensaio de viscosidade vêm de encontro com o que mostrou a mesa de consistência, à medida que adicionam-se fibras e aumentam-se sua concentração na mistura, a argamassa tende a ficar mais viscosa. A argamassa

referência sem adição de fibra tem a menor viscosidade se comparada com as outras formulações. No quadro 7 estão as médias das viscosidades obtidas para cada formulação de argamassa.

QUADRO 7 – RESULTADOS MESA DE VISCOSIDADE

Viscosidade (cP)									
REF	L05	L03	L01	M05	M03	M01	C05	C03	C01
498.650	626.375	593.125	537.625	583.988	557.000	547.500	535.250	526.250	519.220

FONTE: A autora (2019).

TABELA 3 – TESTE DE VARIÂNCIA (ANOVA) VISCOSIDADE

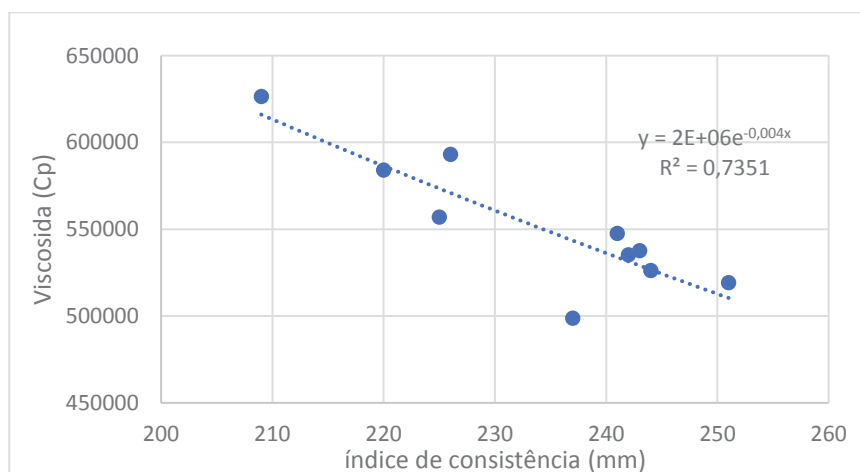
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Comparação
(%) Entre grupos	1,05784E+11	9	1,18E+10	29,835	0,004596	2,016601	<b>significativo</b>
Dentro dos grupos	2,7577E+11	70	3,94E+09				
Total	3,81554E+11	79					

FONTE: A autora (2019).

Através do teste de variância anova realizado para os ensaios de viscosidade é possível perceber efeito significativo na variação da concentração de fibra na mistura conforme mostra a tabela 3. O teste Tukey mostra efeito significativo também para o comprimento das fibras.

O índice de consistência e a viscosidade apresentam correlação quando analisadas simultaneamente às amostras, conforme apresentado no gráfico 2.

GRÁFICO 2 – CORRELAÇÃO ENTRE ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA E VISCOSIDADE

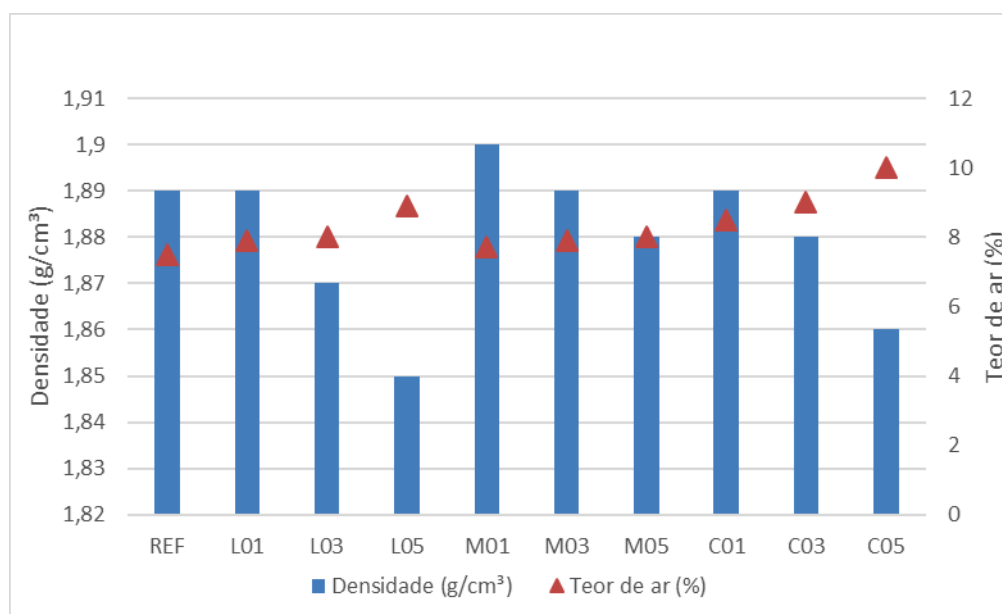


FONTE: A autora (2019).

Outra relação importante observada foi que a incorporação de fibras na mistura apresentou uma tendência de deixar a argamassa mais leve, ou seja, à medida em que se aumenta a concentração de fibra, a densidade é sensivelmente reduzida, provavelmente pelo fato de a fibra apresentar capacidade de aprisionar ar dentro do sistema. Para essa verificação foi realizado o ensaio de ar aprisionado que mostrou também essa tendência, quanto maior a concentração de fibras na mistura maior a quantidade de ar aprisionado conforme gráfico 3.

A fibra curta foi a fibra que obteve os maiores resultados de ar aprisionado. As fibras em questão se apresentam em forma de microtubos, e por serem curtas possivelmente ficaram distribuídas de forma mais homogênea na argamassa. Os microtubos por serem menores se comparados com as outras fibras, podem apresentar maior capacidade de retenção de água tornando com isso a mistura também mais fluida como mostra o ensaio da mesa de consistência.

GRÁFICO 3 – DENSIDADE E TEOR DE AR.



FONTE: A autora (2019).

Desta forma a adição de fibras mostrou uma capacidade de modificar o comportamento das argamassas no estado fresco no que diz respeito à fluidez, espalhamento, ar incorporado e viscosidade.

## 4.2 CARACTERIZAÇÃO REOLÓGICA PELO ENSAIO “SQUEEZE FLOW”

O comportamento reológico das argamassas pode ser caracterizado através do ensaio “Squeeze Flow” que mostra com mais precisão a influência da adição de fibras na plasticidade da mistura. Pode-se através das curvas obtidas confirmar a tendência mostrada nos ensaios da mesa de consistência, viscosidade e ar incorporado apresentados no item 4.1, ou seja, a quantidade e o tipo de fibra adicionado na argamassa impactaram na plasticidade da mesma. O teste anova de variância mostrado na tabela 4 que mostrou efeito significativo nos resultados para a variação na concentração de fibras na mistura e, o teste Tukey confirmou que o efeito também é significativo para a variação do comprimento das fibras.

TABELA 4 – TESTE DE VARIÂNCIA (ANOVA) SQUEEZE FLOW

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>	<i>Comparação</i>
Entre grupos	1789479	9	198830,9	592,9352	2,85E-22	2,392814	<b>significativo</b>
Dentro dos grupos	6706,667	20	335,3333				
Total	1796185	29					

FONTE: A autora (2019).

Através dos resultados obtidos no ensaio de retenção de água mostrados no quadro 8, é possível observar que a medida em que as fibras são adicionadas na mistura o valor de retenção de água diminui se comparadas com a argamassa de referência sem adição de fibras, Isso faz com que a argamassa de referência seja a argamassa menos plástica dentre os traços analisados, confirmando a análise apresentada com as curvas obtidas no ensaio de squeeze flow.

QUADRO 8 – RESULTADOS RETENÇÃO DE ÁGUA

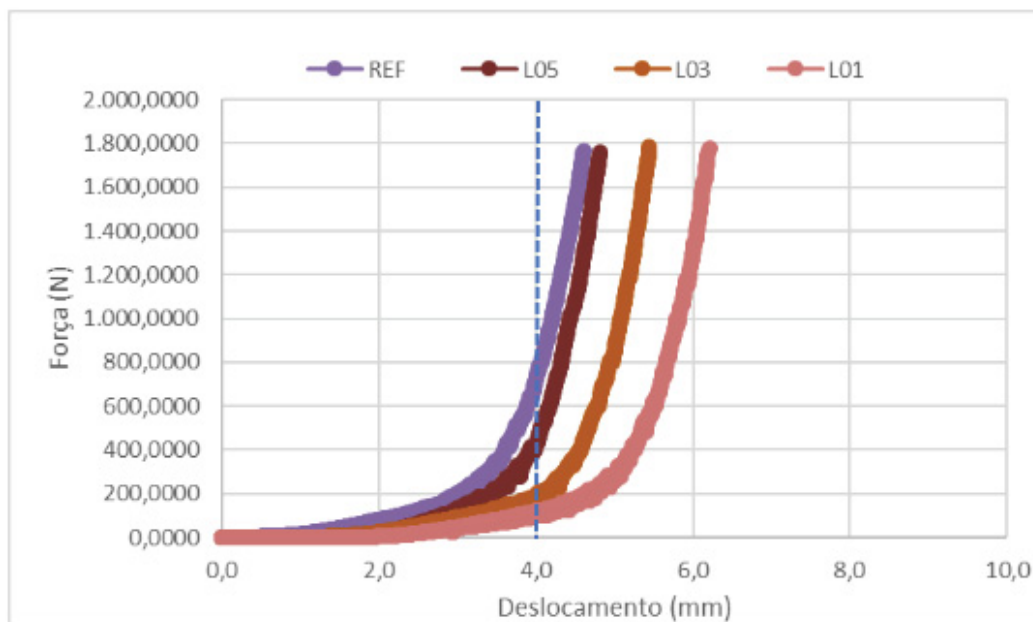
Formulações	IND	REF	L05	L03	L01	M05	M03	M01	C05	C03	C01
Retenção de água	96,28	86,5	88,7	88,4	87,9	87,6	87,1	81,1	90,1	89,9	89,23

FONTE: A autora (2019).

As curvas apresentadas nos gráficos 4, 5 e 6, se deram através do ensaio realizado na velocidade de 0,1mm/m que corresponde a uma velocidade lenta e

mostram o comportamento das argamassas com o mesmo tipo de fibra, porém em concentrações diferentes.

GRÁFICO 4 – CURVAS DE SQUEEZE FLOW PARA VELOCIDADE 0,1mm/s FIBRA LONGA NAS CONCENTRAÇÕES 0,5%, 0,3% e 0,1%.

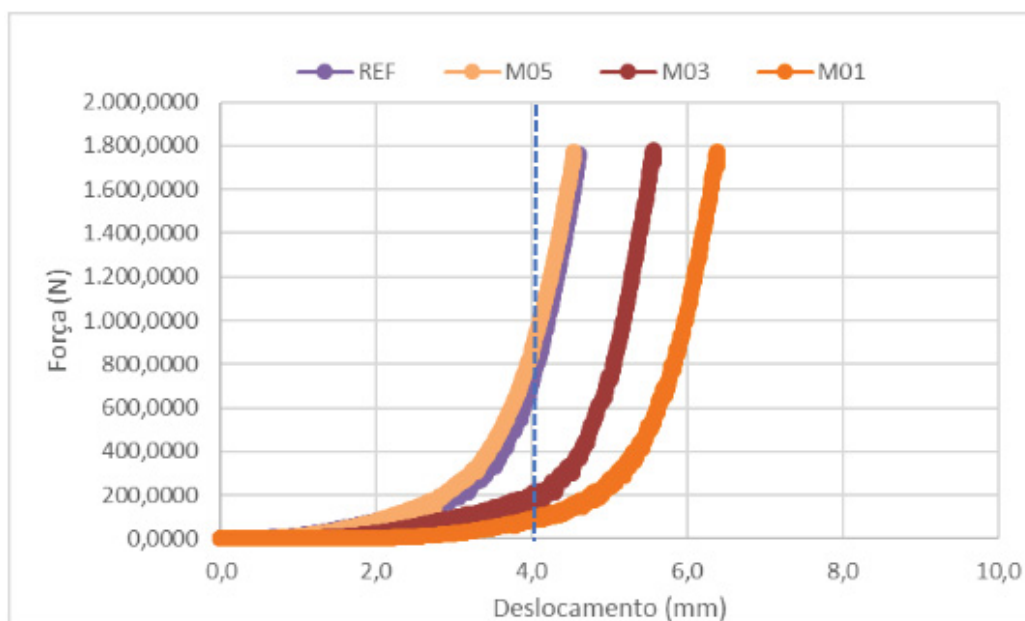


FONTE: A autora (2019).

As curvas obtidas no ensaio do Squeeze flow mostram que a fibra ajuda a tornar a argamassa mais plástica se comparada com a curva da argamassa de referência sem fibra, como dito anteriormente em análise ao ensaio de retenção de água, porém à medida que a concentração de fibras é aumentada na mistura a argamassa se torna menos plástica. As argamassas com maiores concentrações de fibra são mais viscosas como observado no item 4.1, fazendo com que a taxa de deslocamento da curva para a mesma força aplicada seja menor.

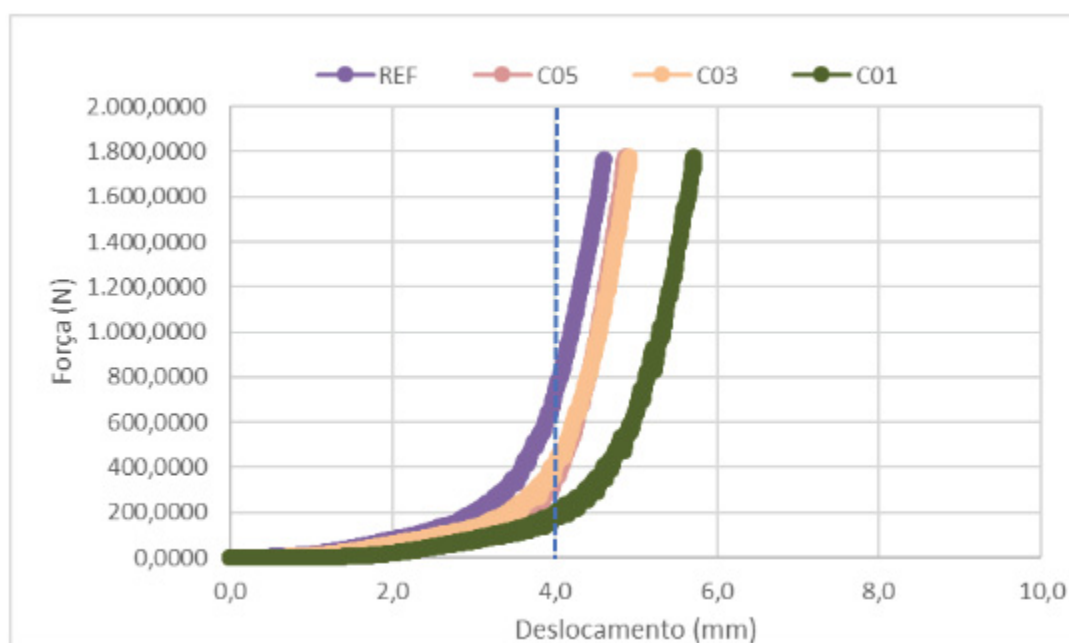
Portanto a concentração de fibra adicionada na mistura é importante para o desempenho da plasticidade. O gráfico 4 mostra que a maior plasticidade se encontra na curva com adição de 0,1%, 0,3% e 0,5 % respectivamente se comparadas com a argamassa de referência sem fibras, cuja curva fica muito próxima da argamassa com concentração 0,5%.

GRÁFICO 5 – CURVAS DE SQUEEZE FLOW PARA VELOCIDADE 0,1mm/s FIBRA MÉDIA NAS CONCENTRAÇÕES 0,5%, 0,3% e 0,1%.



FONTE: A autora (2019).

GRÁFICO 6 – CURVAS DE SQUEEZE FLOW PARA VELOCIDADE 0,1mm/s FIBRA CURTA NAS CONCENTRAÇÕES 0,5%, 0,3% e 0,1%.



FONTE: A autora (2019).

O comportamento observado no gráfico 4 para a fibra longa se repete para as fibras média e curta observadas nos gráficos 5 e 6 respectivamente, à medida que

aumenta-se o teor de fibras na mistura a argamassa tende a ficar menos fluida e menos plástica. As curvas obtidas nos traços com fibra curta mostraram um deslocamento menor, se comparada com as fibras longa e média, pois o deslocamento da fibra curta não chegou a 6mm como foi o caso das formulações com fibra média e curta, já a argamassa referência sem adição de fibras nos três casos ficou muito próxima aos traços de concentração 0,5%, possivelmente por esse teor ficar próximo do limite para mudança do desempenho, talvez um teor maior de fibras pode vir a causar má dispersão na mistura, um maior entrelaçamento entre as fibras gerando uma irregularidade no fluxo e homogeneidade das argamassas.

Comparando todas as curvas obtidas para todos os traços para o deslocamento de 4mm obtém-se o quadro 9.

QUADRO 9 – DADOS DE FORÇA VERSUS DESLOCAMENTO DO ENSAIO SQUEEZE FLOW

Traço	Força (N)	Desloc. (mm)
REF	800	4
L01	100	4
L03	200	4
L05	400	4
M01	100	4
M03	200	4
M05	800	4
C01	200	4
C03	300	4
C05	400	4

FONTE: A autora (2019).

A força aplicada para que a curva chegue no mesmo deslocamento de 4mm é diferente para cada argamassa, sendo necessária uma força maior para a argamassa de referência e decrescendo conforme diminui a concentração de fibras.

As fibras longa e média necessitaram de menos força para alcançar o deslocamento de 4mm, com exceção do traço M05 que ficou muito próximo da argamassa de referência. Provavelmente a concentração de 0,5% tenha atingido o limite para que se obtenha modificações na plasticidade da argamassa até mesmo em função da homogeneidade da mistura, embora o procedimento de mistura tenha sido padronizado, não foi possível verificar neste trabalho se a homogeneidade das fibras na mistura foi garantida.

### 4.3 A CAPACIDADE DE RETENÇÃO DE ÁGUA E O CALOR DE HIDRATAÇÃO

A capacidade de retenção de água das argamassas e sua relação com o calor de hidratação foram avaliadas através dos resultados obtidos nos ensaios de retenção de água e calorimetria, analisando o tempo em que foi atingida a temperatura máxima (T máx.) para cada formulação. O indicador de hidratação também foi avaliado com base na relação da temperatura máxima com o tempo. O quadro 10 mostra os resultados obtidos nos ensaios de calorimetria e retenção de água.

QUADRO 10 – RESULTADOS DE CALORIMETRIA E RETENÇÃO DE ÁGUA

Formulações	REF	L05	L03	L01	M05	M03	M01	C05	C03	C01
T máx (°C)	23,2	22,1	22,92	19,85	23,97	23,7	22,02	25,72	24,37	20,52
Tempo (h)	14	11	9	5	9	10	2	11	9	4
Indicador de hidratação	1,66	2,01	2,55	3,97	2,66	2,37	11,01	2,34	2,71	5,13
Retenção de água	86,5	88,7	88,4	87,9	87,6	87,1	81,1	90,1	89,9	89,23

FONTE: A autora (2019).

A Tabela 5 mostra que o teste de variância anova, para os ensaios de retenção de água, se mostram significativos em relação à quantidade de fibra adicionada na mistura. O teste Tukey também comprova variação significativa para os resultados em relação ao comprimento da fibra.

TABELA 5– TESTE DE VARIÂNCIA (ANOVA) RETENÇÃO DE ÁGUA

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Comparação
(%) Entre grupos	174,2951	9	19,36612	1095,575	6,28E-25	2,392814	<b>significativo</b>
Dentro dos grupos	0,353533	20	0,017677				
Total	174,6486	29					

FONTE: A autora (2019).

As fibras de celulose em função das suas características físicas acabam por atuar como agente de cura interna nas argamassas, armazenando em seu interior parte da água de amassamento dentro de seus micro tubos ilustrados na figura 7. Acredita-se que esta água vai sendo liberada pelo sistema através do mecanismo de



poro pressão em função da perda de água que ocorre para o meio externo, à medida que o material ao seu redor começa a secar.

Analisando os resultados do quadro 10 é possível perceber que as maiores temperaturas foram atingidas pelas argamassas com fibras curtas e médias nas maiores concentrações, C05, C03, M05, M03 respectivamente. Das argamassas que apresentaram os maiores picos de temperatura é possível concluir que obtiveram uma hidratação dos grãos de cimento mais eficiente e por consequência maior controle de perda de água para o meio externo conforme visto na literatura. Através do indicador de hidratação percebe-se que estas argamassas também possuem valores mais baixos, indicando que obtiveram os picos de temperatura em um maior espaço de tempo de hidratação.

Outro ponto importante a ser destacado é que a fibra curta apresenta a maior porcentagem de celulose (99,5%) em sua composição, provável motivo pelo qual as argamassas C05 e C03 apresentaram os maiores picos de temperatura, ou seja, ocorre por provavelmente existir uma maior quantidade de micro tubos dispersos no sistema em função da maior pureza da fibra, por este motivo as fibras que possuem maior teor de celulose também possuem maior capacidade de armazenamento de água, sendo também mais lenta a liberação da água absorvida pela fibra para a matriz.

Em função disso, a fibra curta teve também os maiores valores de retenção de água, este fator também pode estar relacionado com o fato de a fibra curta ser mais pura e apresentar maior quantidade de micro tubos dispersos no sistema, micro tubos estes que armazenam água em seu interior, o fato de armazenarem mais água no sistema comprova que quanto maior a concentração de fibra, maior será a quantidade de água absorvida por estas, o que permitirá que as reações de formações dos hidratos aconteçam de forma mais controlada, a cura da argamassa é feita de forma mais adequada, reduzindo assim as chances de ocorrer retração plástica.

O processo melhorado de hidratação consiste em controlar o tempo em que as reações aconteçam de modo a conter também o processo de retração plástica. Nesse sentido, as fibras curtas podem ter apresentado os maiores valores de retenção de água, muito provavelmente também por terem um tamanho ideal para que haja uma dispersão de forma mais homogênea dentro da mistura, contribuindo para a formação de uma “malha” que deixa a matriz mais estável impedindo a saída de água para o meio externo, como analisado por Siqueira (2006). Vale ressaltar que todas as

argamassas analisadas pelas premissas da ABNT NBR 13281:2001 são classificadas como “U4” apresentando assim a capacidade de retenção de água normal.

Pode-se observar através dos resultados expostos no quadro 10, que as argamassas que atingiram o pico de temperatura no menor espaço de tempo foram as que em sua mistura tiveram os menores teores de adição de fibras, sendo elas as fibras longa, média e curta na concentração 0,1%, (L01, M01 e C01). Como já mencionado, a quantidade de fibras acaba por influenciar de forma significativa no processo de hidratação, desta forma na medida em que a matriz inicia seu processo de secagem a água que estava armazenada nas fibras começa a ser extraída para a hidratação dos grãos de cimentos disponíveis. No caso em que o sistema conta com uma quantidade de fibras menor, a matriz acaba solicitando de forma mais rápida o máximo que pode de água atingindo desta forma seu pico de hidratação em espaço de tempo menor. Por este fator, é provável que as argamassas com menor concentração de fibras em sua mistura apresentam os maiores indicadores de hidratação.

#### 4.4 EFEITO DO USO DE FIBRAS NA RETRAÇÃO PLÁSTICA

A retração plástica ocorre com a argamassa ainda no estado fresco, abrangendo aspectos que envolvem a rápida perda de água para o meio externo, perda de massa, temperatura interna, dentre outros fatores.

Conforme analisado no item 4.3 as fibras de celulose proporcionam maior retenção de água ao sistema, isso faz com que as fibras atuem como uma espécie de cura interna, controlando o processo de hidratação do cimento, fazendo com que a água armazenada nos microtubos das fibras seja liberada de forma gradativa. As reações de formação dos hidratos ocorre provavelmente de forma mais controlada, a cura é feita de forma mais adequada, assim a ocorrência de retração plástica é reduzida.

O ensaio de retração plástica, cujos resultados estão apresentados nos gráficos 7, 8 e 9, mostram que as fibras de uma forma geral de fato atuam reduzindo o impacto da ocorrência de retração plástica nas argamassas, os resultados demonstrados na tabela 6 indicam a diferença entre a o momento inicial e final do ensaio, portanto os valores são referentes à retração final das formulações.

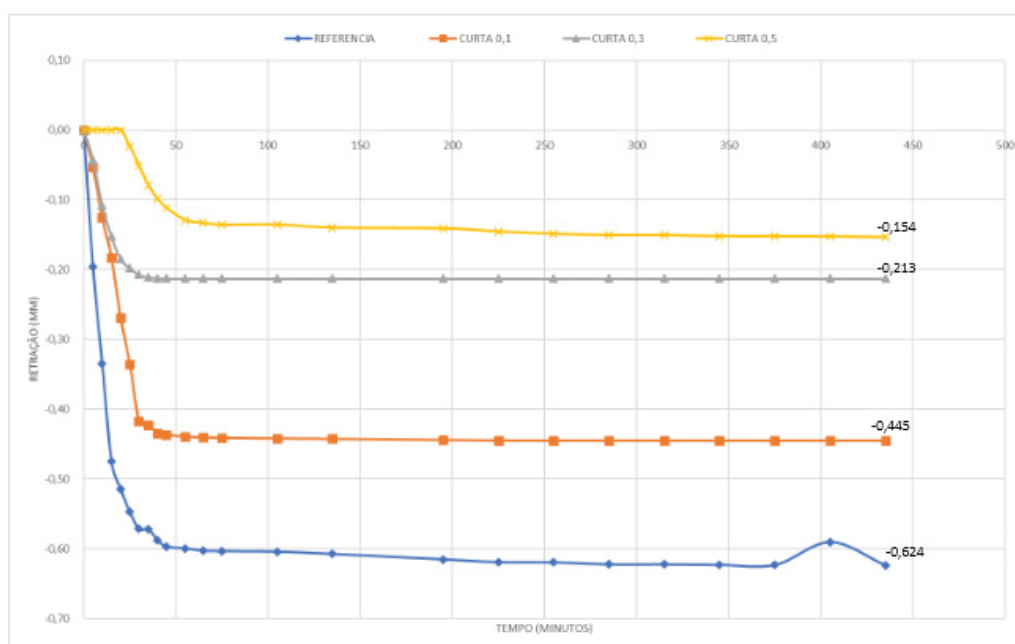
TABELA 6 – RESUMO DOS RESULTADOS DE RETRAÇÃO PLÁSTICA

Traço	Retração (mm)
REF	-0,624
L01	-0,976
L03	-0,203
L05	-0,512
M01	0,014
M03	-0,631
M05	-0,712
C01	-0,445
C03	-0,213
C05	-0,154

FONTE: A autora (2019).

A fibra curta apresentou maior capacidade de retenção de água conforme observado no item 4.3, apresentou também os melhores resultados na redução da retração plástica, ao comparar a curva da argamassa de referência com as curvas das argamassas com fibras curta em todas as concentrações houve uma diminuição da retração. Na medida que se aumenta o teor de fibra a retração diminui, a menor retração ocorreu para a concentração 0,5% seguidas de 0,3% e 0,1% respectivamente, conforme observado no gráfico 7.

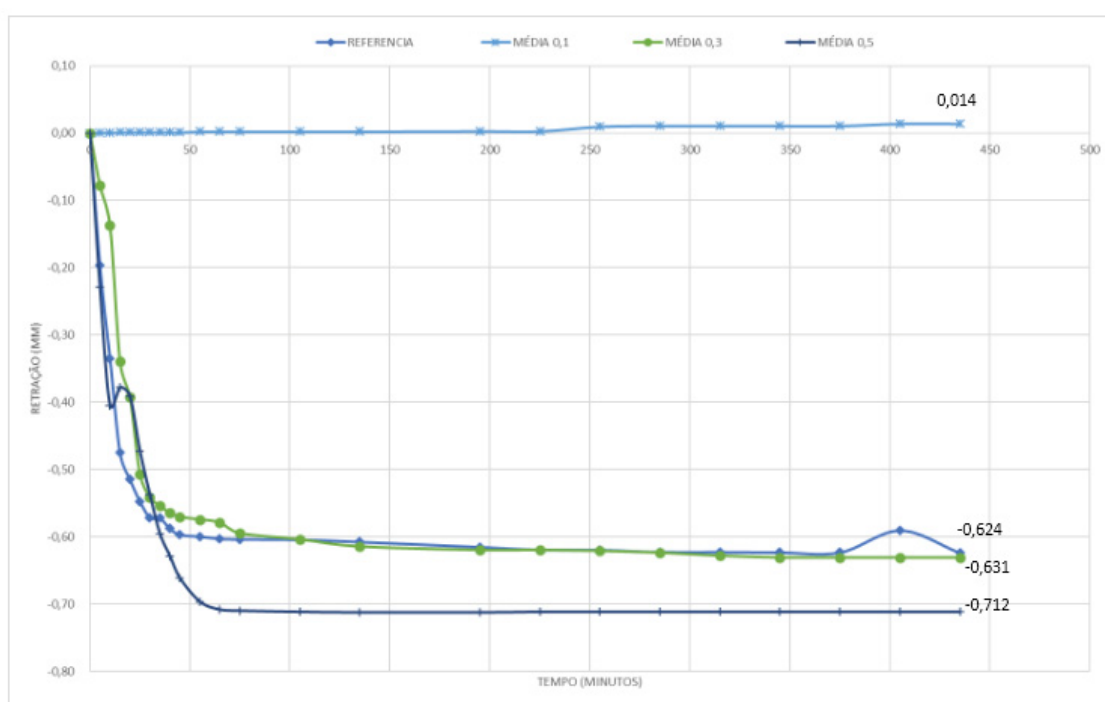
GRAFICO 7 – CURVA DE RETRAÇÃO PLÁSTICA PARA FIBRA CURTA



FONTE: A autora (2019).

Já para a fibra média pode-se observar uma melhora significativa na retração apenas para a menor concentração, de 0,1%, que inclusive foi o melhor resultado obtido entre as fibras e concentrações ensaiadas. Este comportamento pode estar relacionado à tipologia da fibra que pode reagir melhor neste caso para a menor concentração de adição conforme mostra o gráfico 8, visto que a concentração de 0,5% obteve maior retração que a argamassa de referência. Este comportamento também pode estar relacionado com o fato de a fibra média apresentar o maior diâmetro dentre as três fibras, o que pode fazer com que a água encontre maior facilidade para sair do interior da fibra, fazendo com que a água saia de forma mais rápida para o meio externo, o que pode justificar o fato de as concentrações maiores de fibra média não terem apresentado redução da retração da mistura.

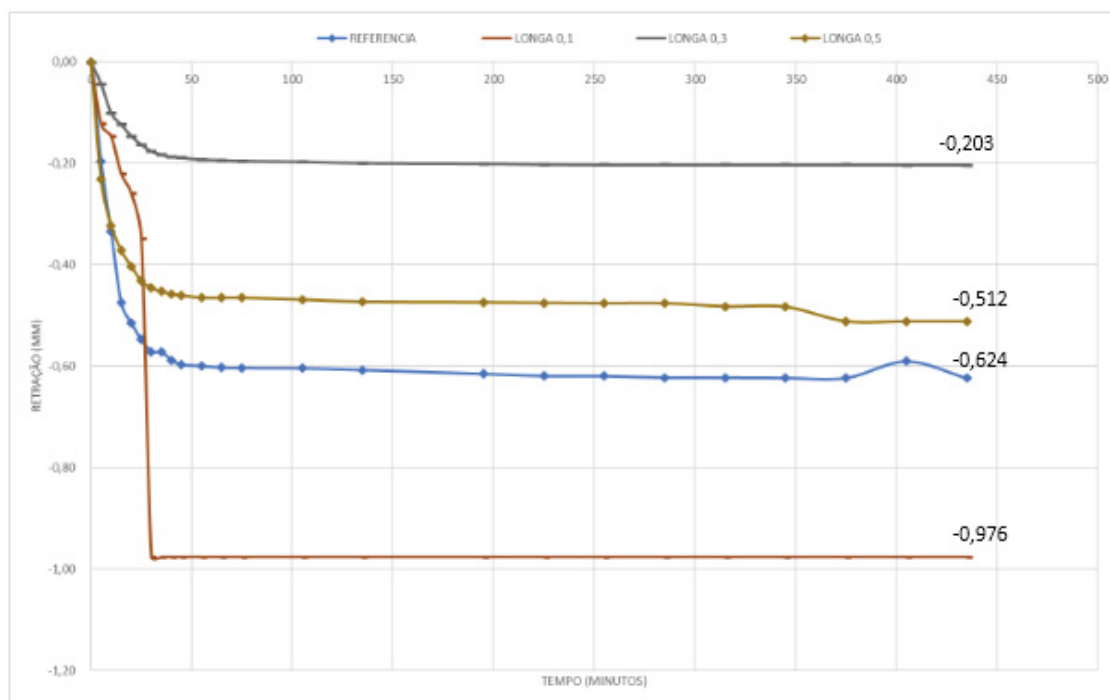
GRAFICO 8 – CURVA DE RETRAÇÃO PARA FIBRA MÉDIA



FONTE: A autora (2019).

Os resultados obtidos para a fibra longa, gráfico 9, mostraram que as maiores concentrações, 0,5% e 0,3% respectivamente também atuam na melhora da retração se comparadas com a argamassa de referência, a concentração de 0,1% não apresentou melhora neste sentido.

GRAFICO 9 – CURVA DE RETRAÇÃO PARA FIBRA LONGA



FONTE: A autora (2019).

Desta forma conclui-se que as fibras atuam de forma benéfica em se tratando de retração plástica, os aspectos relacionados ao tamanho da fibra e a concentração adicionada devem ser levados em consideração bem como a homogeneidade da mistura que também pode ter impactado de forma direta nos resultados obtidos, estes fatores não puderam ser avaliados a fundo neste trabalho visto que o ensaio realizado e desenvolvido no laboratório para retração plástica ainda está em fase de aperfeiçoamento.

#### 4.5 A INFLUÊNCIA DA PERMEABILIDADE NOS RESULTADOS DE RESISTÊNCIA MECÂNICA

No quadro 11 apresentam-se os resultados de densidade, ar incorporado absorção por capilaridade, compressão e tração na flexão.

QUADRO 11 – RESUMO DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS DE DENSIDADE, AR INCORPORADO, ABSORÇÃO POR CAPILARIDADE, COMPRESSÃO E TRAÇÃO NA FLEXÃO

Formulações	REF	L05	L03	L01	M05	M03	M01	C05	C03	C01
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	1,89	1,86	1,88	1,89	1,88	1,89	1,90	1,85	1,87	1,88
Ar incorporado (%)	7,50	8,90	8,00	7,90	8,00	7,90	7,70	10,00	9,00	8,50
Absorção por capilaridade g/cm <sup>2</sup>	2,18	3,83	3,71	3,79	3,63	3,78	3,58	4,07	3,85	3,84
Compressão (MPa)	3,81	4,5	4,61	4,42	4,07	4,72	3,48	3,25	3,84	3,52
Tração na flexão (MPa)	1,29	1,48	1,65	1,50	1,44	1,46	1,26	1,20	1,30	1,10

FONTE: A autora (2019).

Com base no quadro 11 é possível perceber que embora os resultados obtidos nos ensaios de densidade tenham se apresentado bem próximos entre as fibras, ainda assim, a fibra curta mostrou uma tendência em deixar a mistura com menor densidade. Isso se deve provavelmente ao acréscimo de um material mais leve e de menor dimensão na mistura que tende a incorporar uma maior quantidade de ar à mistura se comparado com as outras fibras.

O ensaio de ar incorporado realizado no estado fresco comprova a tendência mostrada pelo ensaio de densidade, ou seja, a fibra curta demonstrou maior capacidade de aprisionar ar na mistura como mostra o gráfico 3 do item 4.1. Como as alterações provocadas no estado fresco refletem nas propriedades das argamassas no estado endurecido, este fator tende a tornar a argamassa que mais incorporou ar mais porosa e permeável.

Para os resultados de absorção por capilaridade realizou-se a análise de variância (ANOVA), com nível de significância de 95%, o teste de variância confirma a influência da adição de fibra nos resultados de absorção por capilaridade conforme mostra Tabela 7. O teste Tukey comprova que o efeito também é significativo em relação ao comprimento da fibra.

TABELA 7 – TESTE (ANOVA) DE SIGNIFICÂNCIA PARA ABSORÇÃO POR CAPILARIDADE

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Comparação
(% de fibra) entre grupos	9,93897251	10	0,993897251	21,36232	1,22E-11	2,132504	<b>Efeito significativo</b>
Dentro dos grupos	1,53534883	33	0,046525722				
Total	11,4743213	43					

FONTE: A autora (2019)

A fibra curta por consequência também mostrou os maiores valores de absorção de água por capilaridade nas 3 concentrações, 0,5% , 0,3% e 0,1% , seguida da fibra longa que foi a segunda fibra cujas argamassas mais absorveram água no ensaio de absorção de água por capilaridade. Este fator pode ter sido resultante da porosidade gerada nessas argamassas através da adição das fibras, pois essa característica eleva a absorção do sistema, uma vez que essa adição de fibra gera uma maior quantidade de vazios e vazios estes que podem se interligar formando caminhos e canalículos, gerando uma maior quantidade de água que irá ascender devido às forças capilares.

Outro indício que pode ser constatado através dos resultados obtidos é que foram as argamassas com a maior concentração de fibras, L05 e C05 as que mais tiveram capacidade de absorver água por capilaridade, este dado mostra que quanto maior a concentração de fibras adicionada na mistura, maior será a quantidade de ar incorporado e com isso formará mais vazios e “caminhos” tornando a argamassa mais permeável e suscetível a absorção de água.

Conforme visto na literatura quando a argamassa apresenta menor permeabilidade e porosidade, por consequência apresentarão resultados de resistência mecânica maiores e mais satisfatórios para determinado fim, normalmente argamassas e concretos convencionais reforçados com fibras de celulose não proporcionam aumento substancial na resistência mecânica em comparação às correspondentes misturas sem fibras, conforme pesquisa realizada por Agopyan e Savastano Jr., 1997. Neste caso as fibras longa e média se comparadas com a argamassa de referência mostraram resultados um pouco melhores, apenas a formulação com adição de fibra curta por ter se mostrado um pouco mais porosa apresentou resultados mais baixos que a argamassa de referência.

Através da análise de variância (ANOVA), com nível de significância de 95%, podemos confirmar que a adição de fibras na mistura das argamassas, assim como os resultados de absorção por capilaridade, apresenta variância significativa para os resultados de compressão e tração na flexão conforme mostra as tabelas 8 e 9 abaixo onde o F da tabela é maior que o F crítico demonstrando desta forma a significância na adição. O teste Tukey comprova que a variação também é significativa em relação ao tamanho das fibras.

TABELA 8 – TESTE (ANOVA) DE SIGNIFICÂNCIA PARA COMPRESSÃO

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Comparação
(% de fibra) entre grupos	134,60619	10	13,46062	182,4494	2,08E-32	2,053901	<b>Efeito significativo</b>
Dentro dos grupos	3,2462	44	0,073777				
Total	137,85239	54					

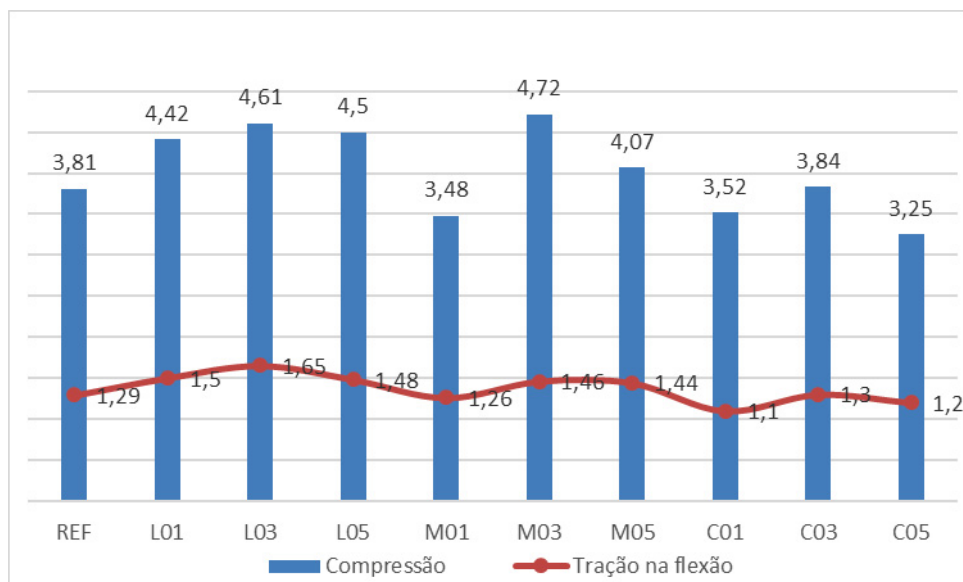
TABELA 9 – TESTE (ANOVA) DE SIGNIFICÂNCIA PARA TRAÇÃO NA FLEXÃO

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Comparação
(% de fibra) entre grupos	33,572578	10	3,357258	520,43174	2,99E-42	2,053901	<b>Efeito significativo</b>
Dentro dos grupos	0,28384	44	0,006451				
Total	33,856418	54					

FONTE: A autora (2019).

Com o teste de variância ANOVA pode-se comprovar que a adição de fibras irá influenciar nas resistências se compararmos os diferentes traços.

GRAFICO 10 – RESULTADOS DE COMPRESSÃO E TRAÇÃO NA FLEXÃO



FONTE: A autora (2019).

Através dos resultados obtidos no quadro 7 e no gráficos 10 pode-se perceber que as argamassas com adição de fibra curta apresentaram em média os menores resultados de resistência mecânica para compressão e tração na flexão. A fibra curta



com maior concentração C05 apresentou o menor valor de resistência mecânica, este fato pode ser correlacionado como visto acima com a porosidade da argamassa, a fibra curta deixou a argamassa com menor densidade se comparada com as outras, por consequência incorporou mais ar no estado fresco o que refletiu no comportamento da argamassa no estado endurecido, aumentando a absorção por capilaridade, deixando a argamassa menos resistente para os resultados de desempenho mecânico.

Já a fibra longa mostrou uma melhora nos resultados de tração na flexão se comparada com as outras fibras e até mesmo com a argamassa de referência, isso se deve ao fato de a fibra apresentar maior comprimento e conforme pesquisado por Carvalho (2014), a fibra de celulose dependendo do seu comprimento apresenta importantes propriedades físicas e mecânicas dentre elas resistência à tração, o que pode gerar no sistema uma melhora em seus resultados referentes aos ensaios de tração na flexão.

Outro ponto importante a ser analisado é quanto ao teor de adição da fibra na mistura os teores de 0,3% de todas as fibras foi o teor que mostrou o melhor desempenho mecânico tanto para compressão quanto para tração na flexão, o teor de 0,3% provavelmente seja o mais ideal em se tratando de resistência mecânica.

A adição de fibras na mistura foi capaz de apresentar uma pequena melhora nos resultados de resistência mecânica, se compararmos esses resultados com os obtidos no traço referência que não houve adição de fibras. Os resultados obtidos de resistência mecânica para a argamassa de referência e para as argamassas com adição de fibras estão dentro dos parâmetros adotados pela norma ABNTNBR 13281:2005.

#### 4.6 A AÇÃO DA FIBRA NO MÓDULO DE DEFORMAÇÃO

Conforme visto na literatura para que tenhamos revestimentos mais resistentes às solicitações impostas é importante que os valores do módulo não sejam tão altos.

O Ensaio de variância anova se mostra significativo para os ensaios de módulo de elasticidade em relação à quantidade de fibra adicionada na mistura conforme mostra tabela 10. O teste Tukey comprova que o comprimento da fibra também irá influenciar nos resultados de forma significativa.

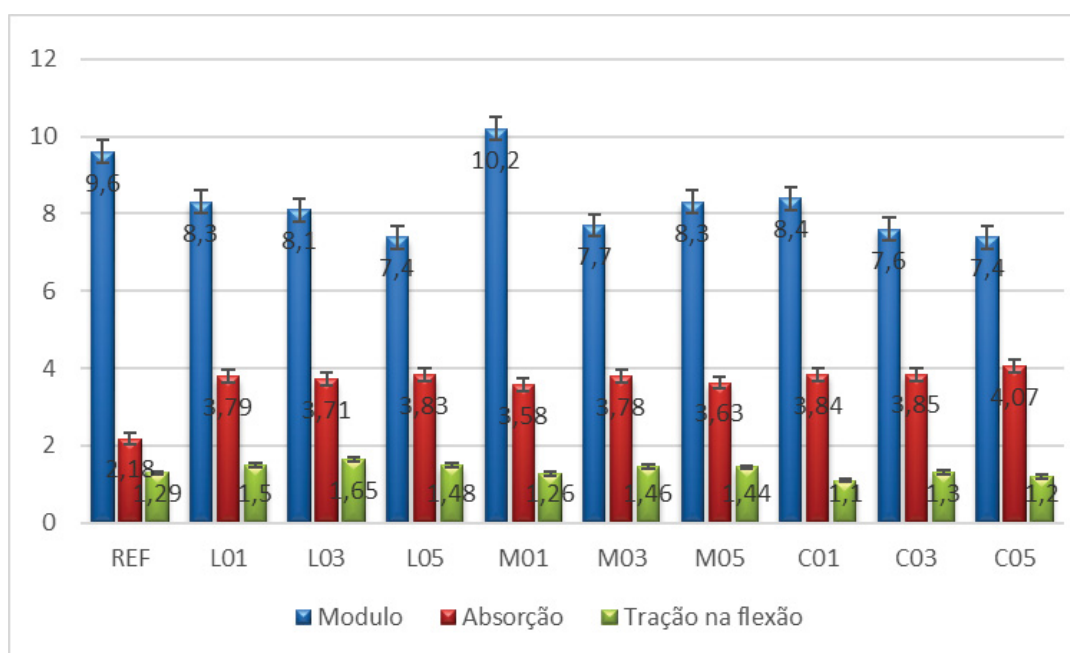
TABELA 10 – TESTE (ANOVA) DE SIGNIFICÂNCIA PARA MÓDULO DE ELASTICIDADE

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Comparação
(%) Entre grupos	47,41876	9	5,268751	91,76014	6,1E-28	2,073351	<b>significativo</b>
Dentro dos grupos	2,870936	50	0,057419				
Total	50,28969	59					

FONTE: A autora (2019).

No gráfico 11 seguem os resultados de módulo de elasticidade dinâmico das argamassas em estudo.

GRÁFICO 11 – RESULTADOS DE MÓDULO DE DEFORMAÇÃO, ABSORÇÃO POR CAPILARIDADE E TRAÇÃO NA FLEXÃO



FONTE: A autora (2019).

Através do gráfico 11 pode-se perceber que as fibras tendem a diminuir o módulo de deformação das argamassas. A argamassa de referência formulada em laboratório sem adição de fibras apresentou o maior valor de módulo de deformação com ordem de grandeza de 9,6 GPa. À medida em que as fibras são adicionadas na mistura o módulo tende a diminuir, este fator também pode ser relacionado ao fato da fibra incorporar ar na mistura fazendo com que a densidade endurecida diminua e por consequência contribui com a redução do módulo de elasticidade.

Observa-se que os resultados das argamassas com adição de fibra se apresentaram próximos entre si, com exceção da fibra média na concentração de 0,1% (M01), cujos resultados se mostraram ainda maiores que o da argamassa de referência. A fibra média por ser a que apresenta menor porcentagem de celulose das 3 fibras, e por estar neste caso na menor concentração, pode ter deixado a argamassa mais rígida com resultados próximos às argamassas sem adição, além disso deve ser levado em conta como já elucidado anteriormente a questão da homogeneidade das fibras na mistura, isso pode impactar nos resultados, visto que não foi possível garantir a homogeneidade da mistura, apesar da padronização do procedimento de mistura ter sido realizada.

Os resultados de módulo de deformação podem ser relacionados com a absorção por capilaridade das argamassas, como podemos ver no gráfico 11.

Pode-se observar que as mesmas argamassas que apresentaram o maior módulo de deformação, REF e M01 são as argamassas que menos absorveram água por capilaridade, o fato de a argamassa absorver menos água indica que ela é menos porosa, como analisado no tópico 4.3. As fibras tendem a incorporar ar na mistura, diminuir sua densidade e por consequência tornar o sistema mais poroso, fazendo com que a argamassa absorva mais água por capilaridade. Este fator é comprovado pelo módulo de deformação cujos resultados são obtidos através dos dados de velocidade das ondas ultrassônicas, segundo Andreucci (2008), a onda do ultra som precisa de um meio para se propagar, sendo assim, geralmente apresenta maiores velocidades de propagação em meios mais densos.

Uma argamassa menos porosa fará com que a velocidade da onda ultrassônica seja maior e por consequência seu módulo de elasticidade também será maior como mostram os resultados apresentados.

Os resultados de tração na flexão também estão diretamente relacionados com o módulo de deformação, pois revestimentos com módulos mais baixos tendem a apresentar valores de tração na flexão também mais baixos. A formulação com a fibra curta foi a que apresentou menores resultados, já a fibra longa se comparada com a argamassa de referência apresentou uma pequena melhora principalmente na concentração de 0,3%.

A adição de fibras pode trazer uma melhora nas características das argamassas de revestimento, por deixar a argamassa com módulo de deformação

menor, pode-se evitar desta forma trincas e fissuração no revestimento aplicado, isso irá impactar na vida útil e desempenho do revestimento.

#### 4.7 ANALISE DE RESULTADOS À LUZ DOS REQUISITOS DE QUALIDADE DA NORMA NBR 13281:2001

O quadro 12 mostra em resumo todos os resultados obtidos nos ensaios realizados neste trabalho.

QUADRO 12 – RESULTADOS RESUMO

Estado fresco								Estado endurecido			
Traço	Flow table (mm)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Retenção de água (%)	C. de hidrat. (T <sup>9</sup> max)	Teor de ar (%)	Viscosidade (Cp)	Retração plástica (mm/m)	Compressão (Mpa)	Tração na flexão (Mpa)	Módulo de elasticidade (GPa)	Absorção por capilaridade (g/cm <sup>2</sup> )
	3 CPs	3CPs	3CPs	1 CP	1 CP	10 CP	1 CP	12 CPs	6 Cps	6 CPs	6 CPs
REF	237	1,89	86,50%	23,20	7,50	498.650	-0,62	3,81	1,29	9,61	2,18
L01	243	1,89	87,90%	19,85	7,90	537.625	-0,98	4,2	1,5	8,3	3,79
L03	226	1,87	88,40%	22,92	8,00	593.125	-0,20	4,61	1,65	8,1	3,71
L05	209	1,85	88,70%	22,10	8,90	626.375	-0,28	4,5	1,48	7,4	3,83
M01	241	1,90	81,10%	22,02	7,70	547.500	0,01	3,48	1,26	10,2	3,58
M03	225	1,89	87,10%	23,70	7,90	557.000	-0,63	4,72	1,46	7,7	3,78
M05	220	1,88	87,60%	23,97	8,00	583.988	-0,71	4,07	1,44	8,3	3,63
C01	251	1,89	89,23%	20,52	8,50	519.220	-0,45	3,52	1,1	7,6	3,84
C03	244	1,88	89,90%	24,37	9,00	526.250	-0,21	3,84	1,3	7,4	3,85
C05	242	1,86	90,10%	25,72	10,00	535.250	-0,15	3,25	1,2	8,4	4,07

FONTE: A autora (2019).

É importante salientar que todos os resultados obtidos se encontram em concordância com os requisitos de qualidade especificados na Norma ABNT NBR 13281 que versa sobre argamassas de assentamento e revestimento adotando os valores limites conforme descritos a seguir.

A norma descreve que os valores mínimos para compressão devem ser 1,5 MPa e de 1 a 2 MPa para tração na flexão. Os menores valores obtidos neste trabalho foram para a formulação C05 que obteve 3,25 Mpa de resistência à compressão e C01 que obteve 1,1 MPa de resultado para a tração na flexão, encontrando-se portanto os valores em concordância com a norma de especificação.

Para os valores de absorção por capilaridade o limite de absorção aceitável para argamassas de revestimento descritos na norma é de 3 a 7 g/cm<sup>2</sup>. O maior valor

de absorção por capilaridade obtido foi de 4,07 g/cm<sup>2</sup> para a formulação C05, ficando este resultado dentro dos parâmetros aceitáveis.

Os valores de retenção de água devem ficar, conforme a norma, entre 86 a 94%, todos os resultados obtidos estão dentro da normalidade.

Os parâmetros de densidade também estão em conformidade com a norma que prevê resultados obtidos entre 1,6 a 2 g/cm<sup>3</sup>. Todas as formulações apresentadas encontram-se dentro dos limites para densidade.

Conclui-se desta forma que as formulações estudadas com adição de fibras se apresentaram de acordo com os requisitos de qualidade especificados na NBR 13281, ou seja, a inserção de fibras de celulose na mistura dessas argamassas resultou em desempenho aceitável para as mesmas.

## 5. CONCLUSÕES

Através da análise de resultado e discussão do capítulo 4 é possível concluir que a adição de fibras de celulose nas argamassas de revestimento acaba por influenciar nas características e no seu desempenho.

No estado fresco as fibras auxiliam no processo de retração plástica fazendo com que a retração diminua na medida em que a concentração de fibras é adicionada. A fibra curta de 45  $\mu\text{m}$  de comprimento foi a que apresentou mais coerência nos resultados deste ensaio, diminuindo em até 24% a retração plástica. A fibra média na concentração de 0,1% também apresentou resultados expressivos em se tratando de retração plástica. Desta forma é possível perceber que as fibras podem trazer benefícios podendo evitar que ocorram fissuras ainda na fase plástica, conforme visto na literatura e nos ensaios realizados.

A fibra atuou no processo de cura interna da argamassa, possivelmente sua capacidade de armazenar água no interior dos seus micro tubos fez com que a hidratação do cimento ocorresse de forma mais controlada e homogênea, impedindo que a água saísse do sistema de forma rápida para o meio externo, isso ajudou também no processo de retração plástica.

Ainda no estado fresco as fibras podem alterar a trabalhabilidade das argamassas, melhorar a plasticidade, aumentam a viscosidade e são capazes de aprisionar ar dentro da mistura, estas características podem trazer uma melhora no desempenho do estado fresco, facilitando sua aplicação, podendo melhorar sua aderência ao substrato que podem ser adequadas de acordo com a necessidade de uso e aplicabilidade de cada revestimento.

No estado endurecido a adição de fibras mostrou uma melhora nos resultados de módulo de deformação, a fibra curta foi capaz de reduzi-lo em aproximadamente 23% se comparada com a argamassa de referência sem adição de fibra. Essa característica é muito importante para os revestimentos, pois o fato de serem muito rígidos com módulos maiores acabam se tornando suscetíveis ao surgimento de trincas e fissuras comprometendo a sua vida útil e durabilidade.

No que tange aos resultados de compressão e tração na flexão, se comparadas ao traço de referência, as fibras longa e média mostraram uma capacidade de melhora nos resultados em torno de 19% de aumento para resultados de compressão e 11% nos resultados de tração na flexão se adicionadas no teor de

0,3%, este teor de adição inclusive se mostrou o mais adequado na melhora dos resultados de compressão e tração na flexão, já a fibra curta mostrou neste caso resultados menores se comparados com a argamassa de referência. Este fato está relacionado com a maior quantidade de ar que a fibra curta foi capaz de apresentar o que acabou refletindo em suas características no estado endurecido.

De forma geral a fibra curta foi a fibra que mais contribuiu para as características necessárias relacionadas à argamassa de revestimento, principalmente em seu estado fresco.

## 5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com o intuito de aprofundar os estudos relacionados ao tema abordado por esta pesquisa a título de complementar e contribuir com as análises realizadas neste trabalho, sugere-se para trabalhos futuros:

- Estudo da durabilidade das argamassas de revestimento com adição de fibras;
- Avaliação quantitativa da influência da incorporação de fibras na retração plástica e fissuração de argamassas de revestimento;
- Verificar se o uso de aditivo plastificante pode contribuir nos ensaios de squeeze flow para as concentrações maiores de adição de fibra, em função de ajudar na dispersão e homogeneidade da mistura
- Verificar se é possível garantir a homogeneidade da fibra na mistura, e se a falta dela impacta nos resultados;
- Avaliar se a porosidade no estado endurecido causada pelas fibras influencia na formação de vasos capilares através de uma análise microscópica.
- Avaliar de que forma o tamanho das fibras auxilia na questão de armazenamento de água em seu interior, se a fibra longa pode perder eficiência.

## REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da resistência da tração na flexão e a compressão NBR 13279/2005.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – Argamassa e concreto endurecido – Determinação de absorção de água por capilaridade NBR 9779.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – Argamassa de Revestimento e assentamento de paredes e tetos NBR 13281/2001

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – Argamassa de Revestimento e assentamento de paredes e tetos- Determinação do índice de consistência NBR 13276/2016.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – Argamassa de Revestimento e assentamento de paredes e tetos e paredes- Determinação da densidade de massa e teor de ar incorporado NBR 13278/2005.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – Argamassa de Revestimento e assentamento de paredes e tetos- Caracterização reológica pelo método do Squeeze Flow NBR 15839/2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 2005, Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da variação dimensional (retração ou expansão linear). Rio de Janeiro, NBR 15261.



AGOPYAN, V.; SAVASTANO Jr., H. Uso de materiais alternativo a base de fibras vegetais na construção civil: experiência brasileira. Seminário Iberoamericano de materiais fibroacimentados. Universidade del Valle, Cali, 1997.

AGOPYAN, V.; SAVASTANO JÚNIOR, H.; JOHN, V.M.; CINCOTTO, M.A. Developments on vegetable fibre-cement based materials in São Paulo, Brazil: an overview. Cement & Concrete Composites, Kidlington,, 2005.

BENTUR, A.; MINDESS, S. Fibre reinforced cementitious composites. Elsevier Applied Science, England. 1990. 449 pp.

BRACELPA, Dados Estatísticos. São Paulo, 2012 e 2013. ([www.bracelpa.org.br](http://www.bracelpa.org.br)).

Carasek, H., Notas de aula – Argamassas, cap. 26, Universidade Federal de Goiás, 2007.

CARVALHO, M.L et al. Kinetic study of the enzymatic hydrolysis of sugarcane bagasse. Brazilian Journal of Chemical Engineering, 2013.

CALDAS E SILVA, A. Estudo da Durabilidade de Compósitos Reforçados com Fibras de Celulose. 2002. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

CINCOTTO, M. A.; NAKAKURA, E. H. Análise dos requisitos de classificação de argamassas de assentamento e revestimento. São Paulo: EPUSP, 2004. 20p. (Série Boletim Técnico BT/PCC/359).

CIOLACU, D.; CIOLACU, F.; POPA, V. I. Amorphous cellulose – structure and Characterization. Cellulose Chemical Technology, Roma, v.45, n. 1-2,p.13-21, 2008.

FARIAS FILHO, J. et al. Estudo da durabilidade de argamassas alternativas contendo resíduos. *Cerâmica* [online]. 2011, vol.57, n.344, pp. 395-403. ISSN 0366-6913.

FENGEL, D., and WEGENER, G., *Wood Chemistry Ultrastructure, Reactions* (Berlin, New York: De Gruyter).

GASTALDINI, Antonio Luiz Guerra Coletânea de artigos – Resumo. UFSM, 2000.

HEINRICKS, H.; BERKENKAMP, R.; LEMPFER, K.; FERCHLAND, H.-J. Global review of technologies and markets for building materials. In: INTERNATIONAL INORGANIC-BONDED WOOD AND FIBER COMPOSITE MATERIALS CONF., 7., Sun Valley, 2000. Proceedings... Moscow, University of Idaho, 2000.

HELENE, P. R. L.; MARTINELLI, F. A. Usos, funções e propriedades das argamassas mistas destinadas ao assentamento e revestimento de alvenarias. 1991. 15f. Boletim técnico - Departamento de Engenharia de Construção Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991. BT/PPC/47

INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLOGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Normalização de mistura prontas para argamassas de revestimento externo de alvenaria, fase I: levantamento de dados da literatura. São Paulo: IPT, 1992. (relatório n. 30.027)

GOMES, A. de O. Propriedades das argamassas de revestimento de fachadas. Comunidade da Construção – UFBA, 2008.

IYER, P. B.; SREENIVASAN, S.; CHIDAMBARESWARAN, P. K.; BATIL, N. B.; SUNDARAM, V. Induced Crystallization of Cellulose in Never-Dried Cotton Fibers. *Journal Applied Polymers Science*, v.42, n. 6, p.1751–1757, 1991.

JOHNSTON, S.J., Butterworth, D.S. and Findlay, K.P. 2001. Further results from a preliminary assessment of Southern Hemisphere humpback whales. Paper SC/53/IA20 presented to the IWC Scientific Committee, July 2001

LIMA NETO, S. A. PETROVIVK, P. R. A celulose na Farmácia: Caderno de Farmácia, v.13, n.1., p.19-23, 1997.

KADLA, J. F.; GILBERT, R. D. Cellulose structure: a review. Cellulose Chemical Technology, Roma, v. 34, p. 197, 2000.

KLEMM, D. et al. Nanocelluloses: a new Family of nature-based materials. Angewandte Chemie (Internacional ed. In English), jun 2011.

MACIEL, Luciana Leone. BARROS, Mércia M. S. Bottura. SABBATINI, Fernando Henrique. Recomendações para Execução de Revestimentos de Argamassa para paredes de vedação internas e externa e tetos. São Paulo, 1998.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO P. J. M. Concreto – estrutura, propriedades e materiais. São Paulo, PINI, 2008.

NISHINO, T.; MATSUDA, I. e HIRAO, K. All-Cellulose Composite. Macromolecules, 2004.

NEVES, Célia M.M. Soil cement as na environmental friendry building material, In: Simposium on construction & environment: Theory into Practice 2000, São Paulo.

NEVILLE, A. M. Propriedades do Concreto; 2º ed., São Paulo, 1997.

PERUZZI, A,P. Comportamento das fibras de vidro convencionais em matris de cimento Portland Modificada com látex e adição de sílica ativa – Escola de São Carlos, São Carlos SP. 2002.

QUARCIONI, V. A.; CHOTOLI, F. F.; ÂNGULO, S. C.; GUILGE, M. G.;CAVANI, G. D. R.; CASTRO, A. L. D.; CINCOTTO, M. A. Estimativa da porosidade de argamassas de cimento e cal pelo método de cálculo de volumes. Laboratório de Materiais de Construção Civil Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, 2009.

QUARCIONI, V. A.; CINCOTTO, M. A. Influência da Cal em Propriedades Mecânicas de Argamassas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 6., 2005, Florianópolis. Anais... Florianópolis: UFSC; ANTAC, 2005. p. 233-250.

RONGXI, S. Current Status, Trends of World Fibre-Cement Industry and Its Impact on China Fibre-Cement Industry. In: NATIONAL FIBRECEMENT TECHNOLOGY, STANDARDS AND INFORMATION CONFERENCE, 1995, Beijing. Proceedings... Beijing, 1995. 1 CD-ROM.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. Biologia vegetal. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001.

SABBATINI, F.H. - Tecnologia de execução de revestimentos de argamassas, 13º Simpósio de Aplicação da Tecnologia de Argamassas, 2001.

SAVASTANO, H. J. Materiais à base de cimento reforçados com fibra vegetal: reciclagem de resíduos para construção de baixo custo. Tese de Livre-Docência. Departamento de Engenharia de Construção Civil. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2000.

SAVASTANO, H. J. Sustainable cement based materials and techniques for rural construction, Campinas SP , 2001.

SELMO, S.M.S. Revestimentos de argamassas de paredes e tetos de edifícios: projeto, execução e manutenção. São Paulo, ABCP, 1996. (Apostilas e Anexos de laboratório do Curso Intensivo de Argamassas de Assentamento e Revestimento – CIARE).

SILVA, A. C. Estudo da durabilidade de compósitos reforçados com fibras de celulose. 2002. 128f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia de Construção Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

SILVA, N. G. Argamassa de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária. 2006. 164f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2006.

SILVA, R. P. Argamassas com adição de fibras de polipropileno – estudo do comportamento reológico. 2006. 191f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

SOUZA COUTINHO, J. Agregados para argamassas e betons. Ed. LNEC, Lisboa, 2007.

SIQUEIRA G, BRAS J, DUFRESNE A. Cellulosic Bionanocomposites: A Review of Preparation, Properties and Applications. *Polymers*. 2010.

SJÖSTRÖM. E. Wood Chemistry fundamentals and applications. Nova York. Academic Press. 223p. 1981.

SMITH, K. D. Metals Handbook: diffraction Methods. London: John Willey, 1981. v.10, p.326-355.

TURBAK, A. F.; SNYDER, F.W. e SANDBERG, K. R. Microfibrillated cellulose, a new cellulose product: properties, uses, and commercial potential. *Journal of Applied Polymer Science: Applied Polymer Symposium*, 1983.

Vásquez, M.P.; Silva, J. N. C.; Souza Jr., M.B.; Pereira Jr., N. (2007). Enzymatic hydrolysis optimization to ethanol production by Simultaneous Saccharification and Fermentation. *Applied Biochemistry and Biotechnology*,

Yasuda K, Saito M, Kamide K (2002) Flow birefringence and viscosity of cellulose solutions in semidilute regime.

ZOBEL, B. J.; BUIJTENEN, J. P. Wood variation: its causes and control. Berlin: Springer-Verlag, 1989.

## ANEXOS

## ANEXO 01 - Teste Tukey para ensaio de densidade

Tukey Test								
	MeanDiff	SEM	q Value	Prob	Alpha	Sig	LCL	UCL
L01 REF	-0,01	0,01054	1,34164	0,99224	0,05	0	-0,04733	0,02733
L03 REF	-0,01667	0,01054	2,23607	0,84218	0,05	0	-0,05399	0,02066
L03 L01	-0,00667	0,01054	0,89443	0,99964	0,05	0	-0,04399	0,03066
L05 REF	-0,02667	0,01054	3,57771	0,31072	0,05	0	-0,06399	0,01066
L05 L01	-0,01667	0,01054	2,23607	0,84218	0,05	0	-0,05399	0,02066
L05 L03	-0,01	0,01054	1,34164	0,99224	0,05	0	-0,04733	0,02733
M01 REF	0,01333	0,01054	1,78885	0,95066	0,05	0	-0,02399	0,05066
M01 L01	0,02333	0,01054	3,1305	0,47912	0,05	0	-0,01399	0,06066
M01 L03	0,03	0,01054	4,02492	0,18631	0,05	0	-0,00733	0,06733
M01 L05	0,04	0,01054	5,36656	0,02964	0,05	1	0,00267	0,07733
M03 REF	-0,00667	0,01054	0,89443	0,99964	0,05	0	-0,04399	0,03066
M03 L01	0,00333	0,01054	0,44721	1	0,05	0	-0,03399	0,04066
M03 L03	0,01	0,01054	1,34164	0,99224	0,05	0	-0,02733	0,04733
M03 L05	0,02	0,01054	2,68328	0,67085	0,05	0	-0,01733	0,05733
M03 M01	-0,02	0,01054	2,68328	0,67085	0,05	0	-0,05733	0,01733
M05 REF	-0,01667	0,01054	2,23607	0,84218	0,05	0	-0,05399	0,02066
M05 L01	-0,00667	0,01054	0,89443	0,99964	0,05	0	-0,04399	0,03066
M05 L03	-2,22045E-16	0,01054	2,97904E-14	1	0,05	0	-0,03733	0,03733
M05 L05	0,01	0,01054	1,34164	0,99224	0,05	0	-0,02733	0,04733
M05 M01	-0,03	0,01054	4,02492	0,18631	0,05	0	-0,06733	0,00733
M05 M03	-0,01	0,01054	1,34164	0,99224	0,05	0	-0,04733	0,02733
C01 REF	0,01667	0,01054	2,23607	0,84218	0,05	0	-0,02066	0,05399
C01 L01	0,02667	0,01054	3,57771	0,31072	0,05	0	-0,01066	0,06399
C01 L03	0,03333	0,01054	4,47214	0,10515	0,05	0	-0,00399	0,07066
C01 L05	0,04333	0,01054	5,81378	0,01516	0,05	1	0,00601	0,08066
C01 M01	0,00333	0,01054	0,44721	1	0,05	0	-0,03399	0,04066
C01 M03	0,02333	0,01054	3,1305	0,47912	0,05	0	-0,01399	0,06066
C01 M05	0,03333	0,01054	4,47214	0,10515	0,05	0	-0,00399	0,07066
C03 REF	0	0,01054	0	1	0,05	0	-0,03733	0,03733
C03 L01	0,01	0,01054	1,34164	0,99224	0,05	0	-0,02733	0,04733
C03 L03	0,01667	0,01054	2,23607	0,84218	0,05	0	-0,02066	0,05399
C03 L05	0,02667	0,01054	3,57771	0,31072	0,05	0	-0,01066	0,06399
C03 M01	-0,01333	0,01054	1,78885	0,95066	0,05	0	-0,05066	0,02399
C03 M03	0,00667	0,01054	0,89443	0,99964	0,05	0	-0,03066	0,04399
C03 M05	0,01667	0,01054	2,23607	0,84218	0,05	0	-0,02066	0,05399
C03 C01	-0,01667	0,01054	2,23607	0,84218	0,05	0	-0,05399	0,02066
C05 REF	-0,00333	0,01054	0,44721	1	0,05	0	-0,04066	0,03399
C05 L01	0,00667	0,01054	0,89443	0,99964	0,05	0	-0,03066	0,04399
C05 L03	0,01333	0,01054	1,78885	0,95066	0,05	0	-0,02399	0,05066
C05 L05	0,02333	0,01054	3,1305	0,47912	0,05	0	-0,01399	0,06066
C05 M01	-0,01667	0,01054	2,23607	0,84218	0,05	0	-0,05399	0,02066
C05 M03	0,00333	0,01054	0,44721	1	0,05	0	-0,03399	0,04066
C05 M05	0,01333	0,01054	1,78885	0,95066	0,05	0	-0,02399	0,05066
C05 C01	-0,02	0,01054	2,68328	0,67085	0,05	0	-0,05733	0,01733
C05 C03	-0,00333	0,01054	0,44721	1	0,05	0	-0,04066	0,03399



## ANEXO 02 - Teste Tukey para ensaio de Flow Table

Tukey Test ▾								
	MeanDiff	SEM	q Value	Prob	Alpha	Sig	LCL	UCL
L03 L01	-17,96667	1,1293	22,4996	9,07229E-7	0,05	1	-21,92354	-14,00979
L05 L01	-33,66667	1,1293	42,16067	0	0,05	1	-37,62354	-29,70979
L05 L03	-15,7	1,1293	19,66106	1,79392E-7	0,05	1	-19,65687	-11,74313
M01 L01	-1,26667	1,1293	1,58624	0,96292	0,05	0	-5,22354	2,69021
M01 L03	16,7	1,1293	20,91336	1,86914E-7	0,05	1	12,74313	20,65687
M01 L05	32,4	1,1293	40,57442	0	0,05	1	28,44313	36,35687
M03 L01	-20,56667	1,1293	25,75558	2,1468E-8	0,05	1	-24,52354	-16,60979
M03 L03	-2,6	1,1293	3,25597	0,38934	0,05	0	-6,55687	1,35687
M03 L05	13,1	1,1293	16,40509	1,0953E-7	0,05	1	9,14313	17,05687
M03 M01	-19,3	1,1293	24,16933	1,17597E-7	0,05	1	-23,25687	-15,34313
M05 L01	-22,03333	1,1293	27,59228	2,12799E-8	0,05	1	-25,99021	-18,07646
M05 L03	-4,06667	1,1293	5,09267	0,0413	0,05	1	-8,02354	-0,10979
M05 L05	11,63333	1,1293	14,56839	2,16369E-7	0,05	1	7,67646	15,59021
M05 M01	-20,76667	1,1293	26,00603	2,1458E-8	0,05	1	-24,72354	-16,80979
M05 M03	-1,46667	1,1293	1,8367	0,91916	0,05	0	-5,42354	2,49021
C01 L01	-0,43333	1,1293	0,54266	0,99998	0,05	0	-4,39021	3,52354
C01 L03	17,53333	1,1293	21,95694	3,93638E-7	0,05	1	13,57646	21,49021
C01 L05	33,23333	1,1293	41,618	0	0,05	1	29,27646	37,19021
C01 M01	0,83333	1,1293	1,04358	0,99733	0,05	0	-3,12354	4,79021
C01 M03	20,13333	1,1293	25,21291	2,14727E-8	0,05	1	16,17646	24,09021
C01 M05	21,6	1,1293	27,04962	2,13628E-8	0,05	1	17,64313	25,55687
C03 L01	5,36667	1,1293	6,72066	0,00392	0,05	1	1,40979	9,32354
C03 L03	23,33333	1,1293	29,22026	0	0,05	1	19,37646	27,29021
C03 L05	39,03333	1,1293	48,88133	0	0,05	1	35,07646	42,99021
C03 M01	6,63333	1,1293	8,3069	3,94336E-4	0,05	1	2,67646	10,59021
C03 M03	25,93333	1,1293	32,47624	0	0,05	1	21,97646	29,89021
C03 M05	27,4	1,1293	34,31294	0	0,05	1	23,44313	31,35687
C03 C01	5,8	1,1293	7,26332	0,00177	0,05	1	1,84313	9,75687
C05 L01	-0,06667	1,1293	0,08349	1	0,05	0	-4,02354	3,89021
C05 L03	17,9	1,1293	22,41612	9,02351E-7	0,05	1	13,94313	21,85687
C05 L05	33,6	1,1293	42,07718	0	0,05	1	29,64313	37,55687
C05 M01	1,2	1,1293	1,50276	0,97278	0,05	0	-2,75687	5,15687
C05 M03	20,5	1,1293	25,67209	2,14703E-8	0,05	1	16,54313	24,45687
C05 M05	21,96667	1,1293	27,50879	2,12941E-8	0,05	1	18,00979	25,92354
C05 C01	0,36667	1,1293	0,45918	0,99999	0,05	0	-3,59021	4,32354
C05 C03	-5,43333	1,1293	6,80415	0,00347	0,05	1	-9,39021	-1,47646

## ANEXO 03 - Teste Tukey para ensaio de retenção de água

| Tukey Test ▼

	MeanDiff	SEM	q Value	Prob	Alpha	Sig	LCL	UCL
L01 REF	1,4	0,10856	18,23847	7,12983E-8	0,05	1	1,0156	1,7844
L03 REF	2,06667	0,10856	26,92346	2,53997E-9	0,05	1	1,68226	2,45107
L03 L01	0,66667	0,10856	8,68499	1,8477E-4	0,05	1	0,28226	1,05107
L05 REF	2,26667	0,10856	29,52896	0	0,05	1	1,88226	2,65107
L05 L01	0,86667	0,10856	11,29048	4,40773E-6	0,05	1	0,48226	1,25107
L05 L03	0,2	0,10856	2,6055	0,70355	0,05	0	-0,1844	0,5844
M01 REF	-5,06667	0,10856	66,0059	0	0,05	1	-5,45107	-4,68226
M01 L01	-6,46667	0,10856	84,24438	1,71346E-7	0,05	1	-6,85107	-6,08226
M01 L03	-7,13333	0,10856	92,92936	5,55024E-9	0,05	1	-7,51774	-6,74893
M01 L05	-7,33333	0,10856	95,53486	9,57522E-9	0,05	1	-7,71774	-6,94893
M03 REF	0,93333	0,10856	12,15898	1,34871E-6	0,05	1	0,54893	1,31774
M03 L01	-0,46667	0,10856	6,07949	0,01011	0,05	1	-0,85107	-0,08226
M03 L03	-1,13333	0,10856	14,76448	7,67331E-8	0,05	1	-1,51774	-0,74893
M03 L05	-1,33333	0,10856	17,36997	7,27685E-8	0,05	1	-1,71774	-0,94893
M03 M01	6	0,10856	78,16488	0	0,05	1	5,6156	6,3844
M05 REF	1,36667	0,10856	17,80422	7,19591E-8	0,05	1	0,98226	1,75107
M05 L01	-0,03333	0,10856	0,43425	1	0,05	0	-0,41774	0,35107
M05 L03	-0,7	0,10856	9,11924	9,67604E-5	0,05	1	-1,0844	-0,3156
M05 L05	-0,9	0,10856	11,72473	2,43403E-6	0,05	1	-1,2844	-0,5156
M05 M01	6,43333	0,10856	83,81013	0	0,05	1	6,04893	6,81774
M05 M03	0,43333	0,10856	5,64524	0,01956	0,05	1	0,04893	0,81774
C01 REF	2,90667	0,10856	37,86654	0	0,05	1	2,52226	3,29107
C01 L01	1,50667	0,10856	19,62807	2,23646E-7	0,05	1	1,12226	1,89107
C01 L03	0,84	0,10856	10,94308	7,11635E-6	0,05	1	0,4556	1,2244
C01 L05	0,64	0,10856	8,33759	3,12047E-4	0,05	1	0,2556	1,0244
C01 M01	7,97333	0,10856	103,87245	0	0,05	1	7,58893	8,35774
C01 M03	1,97333	0,10856	25,70756	4,75435E-9	0,05	1	1,58893	2,35774
C01 M05	1,54	0,10856	20,06232	2,53321E-7	0,05	1	1,1556	1,9244
C03 REF	3,46667	0,10856	45,16193	0	0,05	1	3,08226	3,85107
C03 L01	2,06667	0,10856	26,92346	2,53997E-9	0,05	1	1,68226	2,45107
C03 L03	1,4	0,10856	18,23847	7,12983E-8	0,05	1	1,0156	1,7844
C03 L05	1,2	0,10856	15,63298	5,73472E-8	0,05	1	0,8156	1,5844
C03 M01	8,53333	0,10856	111,16784	0	0,05	1	8,14893	8,91774
C03 M03	2,53333	0,10856	33,00295	0	0,05	1	2,14893	2,91774
C03 M05	2,1	0,10856	27,35771	1,75118E-9	0,05	1	1,7156	2,4844
C03 C01	0,56	0,10856	7,29539	0,00154	0,05	1	0,1756	0,9444
C05 REF	3,93333	0,10856	51,24142	0	0,05	1	3,54893	4,31774
C05 L01	2,53333	0,10856	33,00295	0	0,05	1	2,14893	2,91774
C05 L03	1,86667	0,10856	24,31796	1,43802E-7	0,05	1	1,48226	2,25107
C05 L05	1,66667	0,10856	21,71247	1,32165E-6	0,05	1	1,28226	2,05107
C05 M01	9	0,10856	117,24733	0	0,05	1	8,6156	9,3844
C05 M03	3	0,10856	39,08244	0	0,05	1	2,6156	3,3844
C05 M05	2,56667	0,10856	33,4372	0	0,05	1	2,18226	2,95107
C05 C01	1,02667	0,10856	13,37488	3,0474E-7	0,05	1	0,64226	1,41107
C05 C03	0,46667	0,10856	6,07949	0,01011	0,05	1	0,08226	0,85107



## ANEXO 04 - Teste Tukey para ensaio de Squeeze Flow

Tukey Test ▼

	MeanDiff	SEM	q Value	Prob	Alpha	Sig	LCL	UCL
L01 REF	-700	14,95177	66,2095	4,01242E-6	0,05	1	-752,94512	-647,05488
L03 REF	-600,33333	14,95177	56,78253	0	0,05	1	-653,27846	-547,38821
L03 L01	99,66667	14,95177	9,42697	6,15458E-5	0,05	1	46,72154	152,61179
L05 REF	-401,33333	14,95177	37,96011	0	0,05	1	-454,27846	-348,38821
L05 L01	298,66667	14,95177	28,24939	1,0695E-10	0,05	1	245,72154	351,61179
L05 L03	199	14,95177	18,82241	7,06607E-8	0,05	1	146,05488	251,94512
M01 REF	-701	14,95177	66,30408	0	0,05	1	-753,94512	-648,05488
M01 L01	-1	14,95177	0,09458	1	0,05	0	-53,94512	51,94512
M01 L03	-100,66667	14,95177	9,52156	5,3606E-5	0,05	1	-153,61179	-47,72154
M01 L05	-299,66667	14,95177	28,34397	0	0,05	1	-352,61179	-246,72154
M03 REF	-567,66667	14,95177	53,69275	0	0,05	1	-620,61179	-514,72154
M03 L01	132,33333	14,95177	12,51675	8,26873E-7	0,05	1	79,38821	185,27846
M03 L03	32,66667	14,95177	3,08978	0,49613	0,05	0	-20,27846	85,61179
M03 L05	-166,33333	14,95177	15,73264	5,53138E-8	0,05	1	-219,27846	-113,38821
M03 M01	133,33333	14,95177	12,61133	7,25805E-7	0,05	1	80,38821	186,27846
M05 REF	0,33333	14,95177	0,03153	1	0,05	0	-52,61179	53,27846
M05 L01	700,33333	14,95177	66,24103	4,01583E-6	0,05	1	647,38821	753,27846
M05 L03	600,66667	14,95177	56,81406	0	0,05	1	547,72154	653,61179
M05 L05	401,66667	14,95177	37,99164	0	0,05	1	348,72154	454,61179
M05 M01	701,33333	14,95177	66,33561	0	0,05	1	648,38821	754,27846
M05 M03	568	14,95177	53,72428	0	0,05	1	515,05488	620,94512
C01 REF	-598	14,95177	56,56183	0	0,05	1	-650,94512	-545,05488
C01 L01	102	14,95177	9,64767	4,46227E-5	0,05	1	49,05488	154,94512
C01 L03	2,33333	14,95177	0,2207	1	0,05	0	-50,61179	55,27846
C01 L05	-196,66667	14,95177	18,60172	7,0872E-8	0,05	1	-249,61179	-143,72154
C01 M01	103	14,95177	9,74225	3,89095E-5	0,05	1	50,05488	155,94512
C01 M03	-30,33333	14,95177	2,86908	0,59079	0,05	0	-83,27846	22,61179
C01 M05	-598,33333	14,95177	56,59336	0	0,05	1	-651,27846	-545,38821
C03 REF	-501	14,95177	47,38708	0	0,05	1	-553,94512	-448,05488
C03 L01	199	14,95177	18,82241	7,06607E-8	0,05	1	146,05488	251,94512
C03 L03	99,33333	14,95177	9,39544	6,44525E-5	0,05	1	46,38821	152,27846
C03 L05	-99,66667	14,95177	9,42697	6,15458E-5	0,05	1	-152,61179	-46,72154
C03 M01	200	14,95177	18,917	7,05701E-8	0,05	1	147,05488	252,94512
C03 M03	66,66667	14,95177	6,30567	0,00714	0,05	1	13,72154	119,61179
C03 M05	-501,33333	14,95177	47,41861	0	0,05	1	-554,27846	-448,38821
C03 C01	97	14,95177	9,17474	8,9139E-5	0,05	1	44,05488	149,94512
C05 REF	-400,33333	14,95177	37,86553	0	0,05	1	-453,27846	-347,38821
C05 L01	299,66667	14,95177	28,34397	0	0,05	1	246,72154	352,61179
C05 L03	200	14,95177	18,917	7,05701E-8	0,05	1	147,05488	252,94512
C05 L05	1	14,95177	0,09458	1	0,05	0	-51,94512	53,94512
C05 M01	300,66667	14,95177	28,43856	0	0,05	1	247,72154	353,61179
C05 M03	167,33333	14,95177	15,82722	5,36321E-8	0,05	1	114,38821	220,27846
C05 M05	-400,66667	14,95177	37,89706	0	0,05	1	-453,61179	-347,72154
C05 C01	197,66667	14,95177	18,6963	7,07815E-8	0,05	1	144,72154	250,61179
C05 C03	100,66667	14,95177	9,52156	5,3606E-5	0,05	1	47,72154	153,61179

## ANEXO 05 - Teste Tukey para ensaio de Compressão.

Tukey Test

	MeanDiff	SEM	q Value	Prob	Alpha	Sig	LCL	UCL
L01 REF	0,524	0,17811	4,16064	0,12738	0,05	0	-0,07228	1,12028
L03 REF	0,98	0,17811	7,78136	9,48042E-5	0,05	1	0,38372	1,57628
L03 L01	0,456	0,17811	3,62071	0,26947	0,05	0	-0,14028	1,05228
L05 REF	0,64	0,17811	5,0817	0,02686	0,05	1	0,04372	1,23628
L05 L01	0,116	0,17811	0,92106	0,99965	0,05	0	-0,48028	0,71228
L05 L03	-0,34	0,17811	2,69965	0,66324	0,05	0	-0,93628	0,25628
M01 REF	-0,344	0,17811	2,73141	0,64876	0,05	0	-0,94028	0,25228
M01 L01	-0,868	0,17811	6,89206	6,75316E-4	0,05	1	-1,46428	-0,27172
M01 L03	-1,324	0,17811	10,51277	3,87607E-7	0,05	1	-1,92028	-0,72772
M01 L05	-0,984	0,17811	7,81312	8,83021E-5	0,05	1	-1,58028	-0,38772
M03 REF	0,788	0,17811	6,25685	0,00262	0,05	1	0,19172	1,38428
M03 L01	0,264	0,17811	2,0962	0,89122	0,05	0	-0,33228	0,86028
M03 L03	-0,192	0,17811	1,52451	0,98421	0,05	0	-0,78828	0,40428
M03 L05	0,148	0,17811	1,17514	0,99759	0,05	0	-0,44828	0,74428
M03 M01	1,132	0,17811	8,98826	6,2471E-6	0,05	1	0,53572	1,72828
M05 REF	0,04	0,17811	0,31761	1	0,05	0	-0,55628	0,63628
M05 L01	-0,484	0,17811	3,84304	0,20139	0,05	0	-1,08028	0,11228
M05 L03	-0,94	0,17811	7,46375	1,92366E-4	0,05	1	-1,53628	-0,34372
M05 L05	-0,6	0,17811	4,7641	0,04749	0,05	1	-1,19628	-0,00372
M05 M01	0,384	0,17811	3,04902	0,50161	0,05	0	-0,21228	0,98028
M05 M03	-0,748	0,17811	5,93924	0,00505	0,05	1	-1,34428	-0,15172
C01 REF	-0,026	0,17811	0,20644	1	0,05	0	-0,62228	0,57028
C01 L01	-0,55	0,17811	4,36709	0,09234	0,05	0	-1,14628	0,04628
C01 L03	-1,006	0,17811	7,9878	5,96915E-5	0,05	1	-1,60228	-0,40972
C01 L05	-0,666	0,17811	5,28815	0,01825	0,05	1	-1,26228	-0,06972
C01 M01	0,318	0,17811	2,52497	0,73998	0,05	0	-0,27828	0,91428
C01 M03	-0,814	0,17811	6,46329	0,0017	0,05	1	-1,41028	-0,21772
C01 M05	-0,066	0,17811	0,52405	1	0,05	0	-0,66228	0,53028
C03 REF	-0,446	0,17811	3,54131	0,29711	0,05	0	-1,04228	0,15028
C03 L01	-0,97	0,17811	7,70195	1,13208E-4	0,05	1	-1,56628	-0,37372
C03 L03	-1,426	0,17811	11,32267	9,50832E-8	0,05	1	-2,02228	-0,82972
C03 L05	-1,086	0,17811	8,62301	1,42575E-5	0,05	1	-1,68228	-0,48972
C03 M01	-0,102	0,17811	0,8099	0,99988	0,05	0	-0,69828	0,49428
C03 M03	-1,234	0,17811	9,79816	1,14316E-6	0,05	1	-1,83028	-0,63772
C03 M05	-0,486	0,17811	3,85892	0,19705	0,05	0	-1,08228	0,11028
C03 C01	-0,42	0,17811	3,33487	0,37666	0,05	0	-1,01628	0,17628
C05 REF	-0,816	0,17811	6,47917	0,00164	0,05	1	-1,41228	-0,21972
C05 L01	-1,34	0,17811	10,63981	2,19142E-7	0,05	1	-1,93628	-0,74372
C05 L03	-1,796	0,17811	14,26053	1,82823E-8	0,05	1	-2,39228	-1,19972
C05 L05	-1,456	0,17811	11,56087	7,93637E-8	0,05	1	-2,05228	-0,85972
C05 M01	-0,472	0,17811	3,74776	0,22887	0,05	0	-1,06828	0,12428
C05 M03	-1,604	0,17811	12,73602	2,66334E-8	0,05	1	-2,20028	-1,00772
C05 M05	-0,856	0,17811	6,79678	8,30161E-4	0,05	1	-1,45228	-0,25972
C05 C01	-0,79	0,17811	6,27273	0,00253	0,05	1	-1,38628	-0,19372
C05 C03	-0,37	0,17811	2,93786	0,55299	0,05	0	-0,96628	0,22628

## ANEXO 06 - Teste Tukey para ensaio de Tração na flexão.

Tukey Test ▾								
	MeanDiff	SEM	q Value	Prob	Alpha	Sig	LCL	UCL
L01 REF	-2,466	0,05259	66,31525	1,39423E-7	0,05	1	-2,64206	-2,28994
L03 REF	-2,388	0,05259	64,21768	1,42806E-7	0,05	1	-2,56406	-2,21194
L03 L01	0,078	0,05259	2,09756	0,89085	0,05	0	-0,09806	0,25406
L05 REF	-2,528	0,05259	67,98254	0	0,05	1	-2,70406	-2,35194
L05 L01	-0,062	0,05259	1,66729	0,9715	0,05	0	-0,23806	0,11406
L05 L03	-0,14	0,05259	3,76486	0,22375	0,05	0	-0,31606	0,03606
M01 REF	-2,782	0,05259	74,81306	0	0,05	1	-2,95806	-2,60594
M01 L01	-0,316	0,05259	8,49782	1,89188E-5	0,05	1	-0,49206	-0,13994
M01 L03	-0,394	0,05259	10,59538	3,5324E-7	0,05	1	-0,57006	-0,21794
M01 L05	-0,254	0,05259	6,83052	7,71709E-4	0,05	1	-0,43006	-0,07794
M03 REF	-2,592	0,05259	69,70362	0	0,05	1	-2,76806	-2,41594
M03 L01	-0,126	0,05259	3,38837	0,35504	0,05	0	-0,30206	0,05006
M03 L03	-0,204	0,05259	5,48593	0,01248	0,05	1	-0,38006	-0,02794
M03 L05	-0,064	0,05259	1,72108	0,96516	0,05	0	-0,24006	0,11206
M03 M01	0,19	0,05259	5,10945	0,02551	0,05	1	0,01394	0,36606
M05 REF	-2,554	0,05259	68,68173	0	0,05	1	-2,73006	-2,37794
M05 L01	-0,088	0,05259	2,36648	0,80326	0,05	0	-0,26406	0,08806
M05 L03	-0,166	0,05259	4,46404	0,07892	0,05	0	-0,34206	0,01006
M05 L05	-0,026	0,05259	0,69919	0,99996	0,05	0	-0,20206	0,15006
M05 M01	0,228	0,05259	6,13134	0,0034	0,05	1	0,05194	0,40406
M05 M03	0,038	0,05259	1,02189	0,99918	0,05	0	-0,13806	0,21406
C01 REF	-2,822	0,05259	75,88874	0	0,05	1	-2,99806	-2,64594
C01 L01	-0,356	0,05259	9,57349	1,79684E-6	0,05	1	-0,53206	-0,17994
C01 L03	-0,434	0,05259	11,67105	7,41606E-8	0,05	1	-0,61006	-0,25794
C01 L05	-0,294	0,05259	7,9062	7,16845E-5	0,05	1	-0,47006	-0,11794
C01 M01	-0,04	0,05259	1,07567	0,99878	0,05	0	-0,21606	0,13606
C01 M03	-0,23	0,05259	6,18512	0,00304	0,05	1	-0,40606	-0,05394
C01 M05	-0,268	0,05259	7,20701	3,39218E-4	0,05	1	-0,44406	-0,09194
C03 REF	-2,926	0,05259	78,68549	0	0,05	1	-3,10206	-2,74994
C03 L01	-0,46	0,05259	12,37024	3,01238E-8	0,05	1	-0,63606	-0,28394
C03 L03	-0,538	0,05259	14,4678	1,74399E-8	0,05	1	-0,71406	-0,36194
C03 L05	-0,398	0,05259	10,70295	1,98736E-7	0,05	1	-0,57406	-0,22194
C03 M01	-0,144	0,05259	3,87242	0,19342	0,05	0	-0,32006	0,03206
C03 M03	-0,334	0,05259	8,98187	6,33789E-6	0,05	1	-0,51006	-0,15794
C03 M05	-0,372	0,05259	10,00376	7,75456E-7	0,05	1	-0,54806	-0,19594
C03 C01	-0,104	0,05259	2,79675	0,61865	0,05	0	-0,28006	0,07206
C05 REF	-2,79	0,05259	75,0282	0	0,05	1	-2,96606	-2,61394
C05 L01	-0,324	0,05259	8,71295	1,16347E-5	0,05	1	-0,50006	-0,14794
C05 L03	-0,402	0,05259	10,81051	1,69863E-7	0,05	1	-0,57806	-0,22594
C05 L05	-0,262	0,05259	7,04566	4,83234E-4	0,05	1	-0,43806	-0,08594
C05 M01	-0,008	0,05259	0,21513	1	0,05	0	-0,18406	0,16806
C05 M03	-0,198	0,05259	5,32458	0,01703	0,05	1	-0,37406	-0,02194
C05 M05	-0,236	0,05259	6,34647	0,00217	0,05	1	-0,41206	-0,05994
C05 C01	0,032	0,05259	0,86054	0,9998	0,05	0	-0,14406	0,20806
C05 C03	0,136	0,05259	3,65729	0,25732	0,05	0	-0,04006	0,31206



## ANEXO 07 - Teste Tukey para ensaio de Absorção por capilaridade

Tukey Test		MeanDiff	SEM	q Value	Prob	Alpha	Sig	LCL	UCL
REF REF		-0,45438	0,20272	3,16985	0,49614	0,05	0	-1,16106	0,25231
L01 REF		1,27172	0,19628	9,16283	2,06317E-5	0,05	1	0,58747	1,95597
L01 REF		1,72609	0,13408	18,20537	3,66311E-8	0,05	1	1,25866	2,19352
L03 REF		1,19219	0,19628	8,5898	6,09363E-5	0,05	1	0,50794	1,87643
L03 REF		1,64656	0,13408	17,36655	3,7501E-8	0,05	1	1,17913	2,11399
L03 L01		-0,07953	0,12414	0,90604	0,99986	0,05	0	-0,51229	0,35322
L05 REF		1,32	0,19628	9,5107	1,07433E-5	0,05	1	0,63575	2,00425
L05 REF		1,77438	0,13408	18,7146	9,34007E-8	0,05	1	1,30695	2,2418
L05 L01		0,04828	0,12414	0,55003	1	0,05	0	-0,38447	0,48104
L05 L03		0,12781	0,12414	1,45607	0,99258	0,05	0	-0,30494	0,56057
M01 REF		1,07141	0,19628	7,71956	3,18883E-4	0,05	1	0,38716	1,75565
M01 REF		1,52578	0,13408	16,09265	3,88013E-8	0,05	1	1,05835	1,99321
M01 L01		-0,20031	0,12414	2,28201	0,86392	0,05	0	-0,63307	0,23244
M01 L03		-0,12078	0,12414	1,37597	0,9952	0,05	0	-0,55354	0,31197
M01 L05		-0,24859	0,12414	2,83204	0,64872	0,05	0	-0,68135	0,18416
M03 REF		1,25922	0,19628	9,07277	2,44453E-5	0,05	1	0,57497	1,94347
M03 REF		1,71359	0,13408	18,07353	3,67714E-8	0,05	1	1,24616	2,18102
M03 L01		-0,0125	0,12414	0,1424	1	0,05	0	-0,44526	0,42026
M03 L03		0,06703	0,12414	0,76364	0,99997	0,05	0	-0,36572	0,49979
M03 L05		-0,06078	0,12414	0,69243	0,99999	0,05	0	-0,49354	0,37197
M03 M01		0,18781	0,12414	2,1396	0,90367	0,05	0	-0,24494	0,62057
M05 REF		1,11141	0,19628	8,00777	1,84258E-4	0,05	1	0,42716	1,79565
M05 REF		1,56578	0,13408	16,51453	3,83559E-8	0,05	1	1,09835	2,03321
M05 L01		-0,16031	0,12414	1,82632	0,96306	0,05	0	-0,59307	0,27244
M05 L03		-0,08078	0,12414	0,92028	0,99984	0,05	0	-0,51354	0,35197
M05 L05		-0,20859	0,12414	2,37635	0,8333	0,05	0	-0,64135	0,22416
M05 M01		0,04	0,12414	0,45569	1	0,05	0	-0,39276	0,47276
M05 M03		-0,14781	0,12414	1,68391	0,97861	0,05	0	-0,58057	0,28494
C01 REF		1,09266	0,19628	7,87267	2,38269E-4	0,05	1	0,40841	1,7769
C01 REF		1,54703	0,13408	16,31677	3,85602E-8	0,05	1	1,0796	2,01446
C01 L01		-0,17906	0,12414	2,03992	0,92668	0,05	0	-0,61182	0,25369
C01 L03		-0,09953	0,12414	1,13388	0,99901	0,05	0	-0,53229	0,33322
C01 L05		-0,22734	0,12414	2,58995	0,75296	0,05	0	-0,6601	0,20541
C01 M01		0,02125	0,12414	0,24208	1	0,05	0	-0,41151	0,45401
C01 M03		-0,16656	0,12414	1,89752	0,95281	0,05	0	-0,59932	0,26619
C01 M05		-0,01875	0,12414	0,2136	1	0,05	0	-0,45151	0,41401
C03 REF		1,32641	0,19628	9,55686	9,85546E-6	0,05	1	0,64216	2,01065
C03 REF		1,78078	0,13408	18,78217	9,38102E-8	0,05	1	1,31335	2,24821
C03 L01		0,05469	0,12414	0,62301	0,99999	0,05	0	-0,37807	0,48744
C03 L03		0,13422	0,12414	1,52905	0,98929	0,05	0	-0,29854	0,56697
C03 L05		0,00641	0,12414	0,07298	1	0,05	0	-0,42635	0,43916
C03 M01		0,255	0,12414	2,90502	0,61581	0,05	0	-0,17776	0,68776
C03 M03		0,06719	0,12414	0,76542	0,99997	0,05	0	-0,36557	0,49994
C03 M05		0,215	0,12414	2,44933	0,80744	0,05	0	-0,21776	0,64776
C03 C01		0,23375	0,12414	2,66293	0,72265	0,05	0	-0,19901	0,66651
C05 REF		1,55609	0,19628	11,21177	5,04898E-7	0,05	1	0,87185	2,24034
C05 REF		2,01047	0,13408	21,20472	7,1846E-7	0,05	1	1,54304	2,4779
C05 L01		0,28438	0,12414	3,23966	0,46545	0,05	0	-0,14838	0,71713
C05 L03		0,36391	0,12414	4,1457	0,16202	0,05	0	-0,06885	0,79666
C05 L05		0,23609	0,12414	2,68963	0,71129	0,05	0	-0,19666	0,66885
C05 M01		0,48469	0,12414	5,52167	0,01853	0,05	1	0,05193	0,91744
C05 M03		0,29688	0,12414	3,38207	0,40516	0,05	0	-0,13588	0,72963
C05 M05		0,44469	0,12414	5,06598	0,04007	0,05	1	0,01193	0,87744
C05 C01		0,46344	0,12414	5,27958	0,02805	0,05	1	0,03068	0,89619
C05 C03		0,22969	0,12414	2,61665	0,74201	0,05	0	-0,20307	0,66244

## ANEXO 08 - Teste Tukey para ensaio de Módulo de elasticidade

Tukey Test ▼

	MeanDiff	SEM	q Value	Prob	Alpha	Sig	LCL	UCL
L01 REF	-1,34529	0,13835	13,752	4,49077E-8	0,05	1	-1,80326	-0,88733
L03 REF	-1,53479	0,13835	15,68905	0	0,05	1	-1,99275	-1,07682
L03 L01	-0,18949	0,13835	1,93705	0,93072	0,05	0	-0,64746	0,26847
L05 REF	-2,19983	0,13835	22,48737	8,03886E-9	0,05	1	-2,6578	-1,74187
L05 L01	-0,85454	0,13835	8,73538	5,00899E-6	0,05	1	-1,31251	-0,39657
L05 L03	-0,66505	0,13835	6,79832	5,65609E-4	0,05	1	-1,12301	-0,20708
M01 REF	0,59872	0,13835	6,12025	0,00267	0,05	1	0,14075	1,05668
M01 L01	1,94401	0,13835	19,87224	6,50918E-9	0,05	1	1,48604	2,40197
M01 L03	2,1335	0,13835	21,8093	7,68388E-9	0,05	1	1,67554	2,59147
M01 L05	2,79855	0,13835	28,60762	9,88243E-9	0,05	1	2,34058	3,25651
M03 REF	-1,95518	0,13835	19,9864	6,58477E-9	0,05	1	-2,41314	-1,49721
M03 L01	-0,60988	0,13835	6,2344	0,00207	0,05	1	-1,06785	-0,15192
M03 L03	-0,42039	0,13835	4,29735	0,09705	0,05	0	-0,87836	0,03758
M03 L05	0,24466	0,13835	2,50098	0,75095	0,05	0	-0,21331	0,70262
M03 M01	-2,55389	0,13835	26,10664	1,10194E-7	0,05	1	-3,01186	-2,09592
M05 REF	-1,34772	0,13835	13,77677	4,4758E-8	0,05	1	-1,80568	-0,88975
M05 L01	-0,00242	0,13835	0,02477	1	0,05	0	-0,46039	0,45554
M05 L03	0,18707	0,13835	1,91228	0,93568	0,05	0	-0,2709	0,64504
M05 L05	0,85212	0,13835	8,7106	5,32551E-6	0,05	1	0,39415	1,31008
M05 M01	-1,94643	0,13835	19,89702	6,52565E-9	0,05	1	-2,4044	-1,48847
M05 M03	0,60746	0,13835	6,20963	0,00219	0,05	1	0,14949	1,06542
C01 REF	-1,9581	0,13835	20,01625	6,60441E-9	0,05	1	-2,41606	-1,50013
C01 L01	-0,6128	0,13835	6,26425	0,00193	0,05	1	-1,07077	-0,15484
C01 L03	-0,42331	0,13835	4,3272	0,09239	0,05	0	-0,88128	0,03466
C01 L05	0,24174	0,13835	2,47113	0,76334	0,05	0	-0,21623	0,6997
C01 M01	-2,55681	0,13835	26,1365	1,10382E-7	0,05	1	-3,01478	-2,09884
C01 M03	20,13333	1,1293	25,21291	2,14727E-8	0,05	1	16,17646	24,09021
C01 M05	21,6	1,1293	27,04962	2,13628E-8	0,05	1	17,64313	25,55687
C03 L01	5,36667	1,1293	6,72066	0,00392	0,05	1	1,40979	9,32354
C03 L03	23,33333	1,1293	29,22026	0	0,05	1	19,37646	27,29021
C03 L05	39,03333	1,1293	48,88133	0	0,05	1	35,07646	42,99021
C03 M01	6,63333	1,1293	8,3069	3,94336E-4	0,05	1	2,67646	10,59021
C03 M03	25,93333	1,1293	32,47624	0	0,05	1	21,97646	29,89021
C03 M05	27,4	1,1293	34,31294	0	0,05	1	23,44313	31,35687
C03 C01	5,8	1,1293	7,26332	0,00177	0,05	1	1,84313	9,75687
C05 L01	-0,06667	1,1293	0,08349	1	0,05	0	-4,02354	3,89021
C05 L03	17,9	1,1293	22,41612	9,02351E-7	0,05	1	13,94313	21,85687
C05 L05	33,6	1,1293	42,07718	0	0,05	1	29,64313	37,55687
C05 M01	1,2	1,1293	1,50276	0,97278	0,05	0	-2,75687	5,15687
C05 M03	20,5	1,1293	25,67209	2,14703E-8	0,05	1	16,54313	24,45687
C05 M05	21,96667	1,1293	27,50879	2,12941E-8	0,05	1	18,00979	25,92354
C05 C01	0,36667	1,1293	0,45918	0,99999	0,05	0	-3,59021	4,32354
C05 C03	-5,43333	1,1293	6,80415	0,00347	0,05	1	-9,39021	-1,47646

## ANEXO 9 - Teste Tukey para ensaio de Viscosidade

Tukey Test ▾

	MeanDiff	SEM	q Value	Prob	Alpha	Sig	LCL	UCL
L01 REF	38975	31383,01392	1,75633	0,96264	0,05	0	-63578,84483	141528,84483
L03 REF	94475	31383,01392	4,25733	0,09643	0,05	0	-8078,84483	197028,84483
L03 L01	55500	31383,01392	2,501	0,75208	0,05	0	-47053,84483	158053,84483
L05 REF	127725	31383,01392	5,75567	0,00451	0,05	1	25171,15517	230278,84483
L05 L01	88750	31383,01392	3,99934	0,14736	0,05	0	-13803,84483	191303,84483
L05 L03	33250	31383,01392	1,49835	0,98699	0,05	0	-69303,84483	135803,84483
M01 REF	48849,5	31383,01392	2,20131	0,86381	0,05	0	-53704,34483	151403,34483
M01 L01	9874,5	31383,01392	0,44497	1	0,05	0	-92679,34483	112428,34483
M01 L03	-45625,5	31383,01392	2,05602	0,90516	0,05	0	-148179,34483	56928,34483
M01 L05	-78875,5	31383,01392	3,55437	0,27975	0,05	0	-181429,34483	23678,34483
M03 REF	58350	31383,01392	2,62943	0,69551	0,05	0	-44203,84483	160903,84483
M03 L01	19375	31383,01392	0,8731	0,9998	0,05	0	-83178,84483	121928,84483
M03 L03	-36125	31383,01392	1,6279	0,97714	0,05	0	-138678,84483	66428,84483
M03 L05	-69375	31383,01392	3,12625	0,45961	0,05	0	-171928,84483	33178,84483
M03 M01	9500,5	31383,01392	0,42812	1	0,05	0	-93053,34483	112054,34483
M05 REF	85337,5	31383,01392	3,84557	0,1864	0,05	0	-17216,34483	187891,34483
M05 L01	46362,5	31383,01392	2,08923	0,8965	0,05	0	-56191,34483	148916,34483
M05 L03	-9137,5	31383,01392	0,41176	1	0,05	0	-111691,34483	93416,34483
M05 L05	-42387,5	31383,01392	1,91011	0,93765	0,05	0	-144941,34483	60166,34483
M05 M01	36488	31383,01392	1,64426	0,97558	0,05	0	-66065,84483	139041,84483
M05 M03	26987,5	31383,01392	1,21614	0,99716	0,05	0	-75566,34483	129541,34483
C01 REF	22687,5	31383,01392	1,02237	0,99927	0,05	0	-79866,34483	125241,34483
C01 L01	-16287,5	31383,01392	0,73396	0,99995	0,05	0	-118841,34483	86266,34483
C01 L03	-71787,5	31383,01392	3,23496	0,41001	0,05	0	-174341,34483	30766,34483
C01 L05	-105037,5	31383,01392	4,73331	0,04035	0,05	1	-207591,34483	-2483,65517
C01 M01	-26162	31383,01392	1,17894	0,99776	0,05	0	-128715,84483	76391,84483
C01 M03	-35662,5	31383,01392	1,60706	0,97902	0,05	0	-138216,34483	66891,34483
C01 M05	-62650	31383,01392	2,8232	0,60442	0,05	0	-165203,84483	39903,84483
C03 REF	27600	31383,01392	1,24374	0,99664	0,05	0	-74953,84483	130153,84483
C03 L01	-11375	31383,01392	0,51259	1	0,05	0	-113928,84483	91178,84483
C03 L03	-66875	31383,01392	3,01359	0,5128	0,05	0	-169428,84483	35678,84483
C03 L05	-100125	31383,01392	4,51194	0,06133	0,05	0	-202678,84483	2428,84483
C03 M01	-21249,5	31383,01392	0,95757	0,99957	0,05	0	-123803,34483	81304,34483
C03 M03	-30750	31383,01392	1,38569	0,99253	0,05	0	-133303,84483	71803,84483
C03 M05	-57737,5	31383,01392	2,60183	0,70799	0,05	0	-160291,34483	44816,34483
C03 C01	4912,5	31383,01392	0,22137	1	0,05	0	-97641,34483	107466,34483
C05 REF	36600	31383,01392	1,64931	0,97508	0,05	0	-65953,84483	139153,84483
C05 L01	-2375	31383,01392	0,10702	1	0,05	0	-104928,84483	100178,84483
C05 L03	-57875	31383,01392	2,60802	0,7052	0,05	0	-160428,84483	44678,84483
C05 L05	-91125	31383,01392	4,10637	0,12413	0,05	0	-193678,84483	11428,84483
C05 M01	-12249,5	31383,01392	0,552	1	0,05	0	-114803,34483	90304,34483
C05 M03	-21750	31383,01392	0,98012	0,99948	0,05	0	-124303,84483	80803,84483
C05 M05	-48737,5	31383,01392	2,19626	0,8654	0,05	0	-151291,34483	53816,34483
C05 C01	13912,5	31383,01392	0,62694	0,99999	0,05	0	-88641,34483	116466,34483
C05 C03	9000	31383,01392	0,40557	1	0,05	0	-93553,84483	111553,84483

